



**Felipe Stahlmann da Silva**

Licenciado em Engenharia Electrotécnica

**INFRAESTRUTURA DE AUTOMAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DE CONTROLADOR INTELIGENTE DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia de Energias Renováveis

Orientador: Doutor João Murta Pina, Professor Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
NOVA de Lisboa

Coorientadores: Doutor Daniel Aelenei, Professor Associado,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Anabela Gonçalves Pronto

Arguentes: Doutor Luís Filipe Figueira Brito Palma

**Novembro, 2020**



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



Infraestrutura de automação para desenvolvimento de controlo inteligente de energia e conforto térmico

Copyright © Felipe Stahlmann da Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



“A necessidade é a mãe da invenção”

Platão



Quero expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram nessa tese de dissertação. Em especial ao Professor Doutor João Murta Pina por ter me dado a oportunidade de atuar no Projeto SUDOKET e por me orientar neste tema tão importante para a minha formação profissional e tão urgente para a sociedade. Agradeço ao Professor Doutor Daniel Aelenei pela disponibilidade e por ter indicado a alternativa de montar o sistema de automação na FCT. Agradeço à Doutora Laura Aelenei e ao Doutor Jorge Facão por terem cordialmente me recebido no SOLAR XXI para que eu pudesse ver de perto este grandioso projeto. Aos colegas do MEER pela partilha e momentos que vivemos juntos. Dirijo um agradecimento especial a um grupo de amigos que fiz em terras lusitanas: Marcelo Marques, Júlia Schramm, Samuel Morais, Orlando Nascimento, Catharina Pereira, Alexandre Gonçalves e Aristóteles Lambuazau. Vocês tornaram a vida do outro lado do Atlântico muito mais saborosa.

Por fim agradeço a quem sempre esteve e estará comigo, a minha família. À minha mãe que nunca mediu esforços para que eu chegasse até aqui. Mãe, você é a principal responsável por essa e por qualquer conquista minha. Obrigado por sempre ser o meu pilar. Aos meus irmãos Victor, Thiago e Lucas, por sempre estarem presente me dando suporte, motivação e amor fraterno. Às minhas cunhadas, Amanda e Rouse, que também sempre estão presentes e que me deram Endi e Matheus, que com a pureza de seus corações me fazem enxergar uma vida mais bela e leve. E aos meus sobrinhos Rudá e Max que estão à caminho. Tio já os espera de coração aberto.





## Resumo

---

Os edifícios representam uma grande parcela do consumo de energia mundial e consequentemente grandes emissores de gases promotores do aquecimento global. Os seus sistemas para aquecimento, ventilação e ar condicionado – AVAC correspondem a quase metade do dispêndio energético destas edificações e, no entanto, apesar de tais gastos significativos com energia para o conforto térmico, apenas uma pequena seção de ocupantes relatou estar satisfeita com o ambiente térmico interno dos edifícios.

A fim de solucionar este dilema e investigar, aprimorar e comprovar a aplicação de Key Enabling Technologies - KETs em condições reais de operação para o desenvolvimento e criação de modelos, a presente dissertação realizou a execução de infraestrutura de automação capaz de monitorizar e supervisionar parâmetros de qualidade do ar, conforto térmico e desempenho energético em um laboratório do Edifício de Electrotecnia pertencente à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa.

A infraestrutura de automação montada se configura como primeira camada para que em trabalhos futuros e com a recolha de dados provenientes deste sistema seja possível desenvolver um controlador inteligente de energia e conforto térmico.

Palavras-chave: Automação, Monitorização e Controlo, Domótica, Eficiência Energetica, Conforto Térmico, Edifícios Inovadores, Projeto Sudoket



# Abstract

---

Buildings represent a large portion of the world's energy consumption and consequently large emitters of global warming gases. Their heating, ventilation and air conditioning - HVAC systems correspond for almost half of the energy demand of these buildings and however despite such significant energy expenditures for thermal comfort, only a small fraction of occupants reported being satisfied with the buildings' internal thermal environment.

In order to solve this dilemma and to investigate, improve and prove the application of Key Enabling Technologies - KETs in real operating conditions for the development and creation of models, this dissertation carried out the execution of an automation infrastructure capable of monitoring and supervising air quality parameters, thermal comfort and energy performance in a laboratory of the Electrotechnics Building belonging to the Faculty of Sciences and Technology of the NOVA University of Lisbon.

The assembled automation infrastructure enables the data collection and is the first layer for the future development of an intelligent energy and thermal comfort controller.

**Keywords:** Automation, Monitoring and Control, Domotics, Energy Efficiency, Thermal Comfort, Innovative Buildings, SUDOKET Project.



# Sumário

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.	ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÕES.....	1
1.2.	OBJETIVO .....	2
1.3.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>5</b>
2.1	AUTOMAÇÃO .....	6
2.1.1	<i>Automação Industrial</i> .....	6
2.1.2	<i>Automação Domótica</i> .....	10
2.1.3	<i>Edifícios Inovadores (EI)</i> .....	11
2.2	<i>BUILDING MANAGEMENT SYSTEM (BMS)</i> .....	14
2.3	<i>BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS (BEMS)</i> .....	15
2.4	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	16
2.4.1	<i>BACnet</i> .....	17
2.4.2	<i>Modbus</i> .....	17
2.4.3	<i>Zigbee</i> .....	18
2.4.4	<i>EnOcean</i> .....	18
2.5	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) E REDES NEURONAIS .....	19
2.5.1	<i>História IC</i> .....	19
2.5.2	<i>Descrição e funcionamento das Redes Neurais Artificiais (RNAs)</i> .....	21
2.6	CONFORTO TÉRMICO .....	22
2.6.1	<i>Dispositivos para medição de fatores ambientais para o Conforto Térmico</i> .....	23
2.6.2	<i>Predicted Mean Vote (PMV)</i> .....	26
2.7	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	27
2.7.1	<i>União Europeia (UE) e as Políticas para Eficiência Energética</i> .....	28
<b>3.</b>	<b>PROJETO SUDOKET .....</b>	<b>31</b>
3.1	PROJETO SUDOKET .....	31
3.1.1	<i>Edifício SOLAR XXI</i> .....	32
3.2	METODOLOGIA .....	39

<b>4.</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>40</b>
4.1	INFRAESTRUTURA DE AUTOMAÇÃO.....	40
4.1.1	<i>Hardware de Automação.....</i>	40
4.2	CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO.....	48
4.3	INTERLIGAÇÃO ELÉTRICA E DIAGRAMA MULTIFILAR.....	51
4.4	COMUNICAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE AUTOMAÇÃO.....	52
4.4.1	<i>EnOcean.....</i>	52
4.4.2	<i>Modbus e RS-485.....</i>	52
4.4.3	<i>Ethernet.....</i>	52
4.5	SOFTWARE IHM – <i>BUILDING EXPERT</i> .....	53
4.5.1	<i>Algoritmos de Controlo (LUA script).....</i>	54
4.6	FLUXOGRAMAS DO SISTEMA DE CONTROLO.....	55
4.6.1	<i>Controlo CO<sub>2</sub>.....</i>	55
4.6.2	<i>Controlo Sistemas de Iluminação.....</i>	56
4.6.3	<i>Controlo Ventoinha de Aquecimento.....</i>	56
4.7	DADOS DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO.....	57
4.7.1	<i>Análise de Energia e tendências dos circuitos monitorizados.....</i>	57
4.7.2	<i>Tendência Humidade.....</i>	59
4.7.3	<i>Tendência Temperatura.....</i>	59
4.7.4	<i>Tendência Concentração de CO<sub>2</sub>.....</i>	60
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>68</b>
	APÊNDICE A.....	70
	APÊNDICE B.....	72
	APÊNDICE C.....	74
	APÊNDICE D.....	76

# Lista de Figuras

FIGURA 2.1: PIRÂMIDE DE AUTOMAÇÃO DE ACORDO COM ISA-95. ADAPTADO DE ISA (2020) .....	7
FIGURA 2.2: ILUSTRAÇÃO AMBIENTE RESIDENCIAL INTELIGENTE. BONINI (2018) .....	12
FIGURA 2.3: INTERFACE LOCAIS E REMOTAS DE GESTÃO INTEGRADA. SINO (2010) .....	14
FIGURA 2.4: REPRESENTAÇÃO DE UM <i>PERCEPTRON</i> SEM (ESQUERDA) E COM (DIREITA) ENTRADA DE POLARIZAÇÃO. SPRINGER (2018) .....	22
FIGURA 2.5: MODELO DE PT100. OMICRON (2020) .....	24
FIGURA 2.6: SENSOR DE TEMPERATURA DE AMBIENTE, HUMIDADE RELATIVA E LÚMENS. SCHNEIDER ELECTRIC (2020B) .....	25
FIGURA 2.7: PLACA DE FLUXO DE CALOR TÍPICA. FLUXTEQ (2020) .....	26
FIGURA 2.8: ESCALA ASHRAE DE SENSÇÃO TÉRMICA E RESPECTIVO ÍNDICE DE ESTADO TÉRMICO. ADAPTADO DE FANGER (1970) .....	27
FIGURA 3.1: VENTILAÇÃO NATURAL DO EDIFÍCIO SOLAR XXI. LNEG (2020) .....	34
FIGURA 3.2: SISTEMA DE RESFRIAMENTO (DUTOS ENTERRADOS SOLAR XXI). LNEG (2020) .....	34
FIGURA 3.3: BIPV (FACHADA DO SOLAR XXI). LNEG (2020) .....	35
FIGURA 3.4: ESQUEMA ILUSTRATIVO DO FUNCIONAMENTO DAS DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DO SISTEMA DE BIPV. (A) AQUECIMENTO DO AR INTERIOR; (B) AQUECIMENTO DO AR EXTERIOR; (C) EXTRAÇÃO DE CALOR DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS; (D) ARREFECIMENTO DO AR INTERIOR POR EFEITO CHAMINÉ. ADAPTADO DE GONÇALVES, CABRITO E DINIZ (2010) .....	36
FIGURA 3.5: <i>PYRANOMETER</i> . PR ELECTRONICS (2020) .....	38
FIGURA 3.6: PERSIANAS OPERADAS POR MOTOR DE PASSO. SUDOKET (2018) .....	38
FIGURA 4.1: MEDIDOR DE ENERGIA IEM3255. SCHNEIDER ELECTRIC (2019A) .....	41
FIGURA 4.2: TRANSFORMADOR DE CORRENTE. SCHNEIDER ELECTRIC (2019A) .....	42
FIGURA 4.3: SENSOR DE CO <sub>2</sub> . THERMOKON (2020) .....	43
FIGURA 4.4: <i>CIRCUIT PUCK RELAY</i> . SCHNEIDER (2020B) .....	44
FIGURA 4.5: SENSOR DE ABERTURA DE PORTA E JANELAS. SCHNEIDER (2019A) .....	44
FIGURA 4.6: SENSOR DE LUX. THERMOKON (2020) .....	45
FIGURA 4.7: SENSOR DE TEMPERATURA E HUMIDADE. SCHNEIDER (2019A) .....	46
FIGURA 4.8: SENSOR DE OCUPAÇÃO. SCHNEIDER (2019A) .....	47
FIGURA 4.9: MULTI-PURPOSE MANAGER – MPM. SCHNEIDER ELECTRIC (2019A) .....	48
FIGURA 4.10: PAINEL DE INFRAESTRUTURA DE AUTOMAÇÃO. (A) <i>CIRCUIT RELAYS</i> ; (B) TRANSFORMADORES DE CORRENTE; (C) MEDIDORES DE ENERGIA; (D) DISJUNTORES MONOFÁSICOS 6 A; (E) DISJUNTOR TRIFÁSICO 16 A; (F) RÉGUA DE TOMADAS; (G) SENSOR DE CO <sub>2</sub> ; (H) FONTE AC/DC; (I) SENSOR DE LUX; (J) SENSOR DE HUMIDADE E TEMPERATURA. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	49
FIGURA 4.11: SENSOR DE ABERTURA DE PORTAS. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	50
FIGURA 4.12: SENSOR DE OCUPAÇÃO INSTALADO NO TETO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	50
FIGURA 4.13: CONFIGURAÇÃO TCP/IPV4. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	53

FIGURA 4.14: CONFIGURAÇÃO TCP/IPV4. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	54
FIGURA 4.15: FLUXOGRAMA DA REGRA CRIADA PARA CONTROLO DO DIÓXIDO DE CARBONO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	55
FIGURA 4.16: FLUXOGRAMA DA REGRA CRIADA PARA SISTEMA DE ILUMINAÇÃO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	56
FIGURA 4.17: FLUXOGRAMA DA REGRA CRIADA PARA CONTROLO DA TEMPERATURA DESCONFORTO FRIO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	56
FIGURA 4.18: CONSUMO ENERGÉTICO TOMADAS ILUMINAÇÃO LADO DIREITO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	58
FIGURA 4.19: DADOS MEDIDOR DE ENERGIA TOMADAS DO PAINEL. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	58
FIGURA 4.20: GRÁFICO DA TENDÊNCIA GERADA PELA MEDIÇÃO DE HUMIDADE DO DIA 15 A 25 DE NOVEMBRO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	59
FIGURA 4.21: GRÁFICO DA TENDÊNCIA TEMPERATURA DO ENVELOPE DO DIA 23 A 25 DE NOVEMBRO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	60
FIGURA 4.22: TENDÊNCIA GERADA PELA MEDIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO DIA 8 A 9 DE NOVEMBRO. IMAGEM PRÓPRIA (2020) .....	60

---



# Lista de Acrónimos e Abreviaturas

ADSL – Assymmetric Digital Subscriber Liner

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BEMS – Building Energy Management System

BIPV – Building Integrated Photovoltaics

BMS / BAS – Building Management System / Building Automation System

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

DNS – Domain Name System

EI – Edifício Inovador

ERPs – Enterprise Resource Planning

EU – European Union

EUA – Estados Unidos da América

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia

FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

GBPN – Global Buildings Performance Network

HMI – Human Machine Interface

IA – Inteligência Artificial

IEA – International Energy Agency

IEC – International Electrotechnical Comission

IEEE – Institute of Electric and Electronic Engineers

IP – Índice de Proteção

ISA – Industry Standard Architecture

ISO – International Organization for Standardization

KETs – Key Enabling Technologies

LAN – Local Area Network

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia  
MES – Manufacturing Execution Systems  
MESA – Manufacturing Enterprises Solution Associations  
MPC – Model Predictive Control  
MPM-UM – Multi Purpose Manager Unit  
NDIR – Non Dispersive Infrared  
nZEB – Nearly Zero Energy Buildings  
PIB – Produto Interno Bruto  
PLC – Programmable Logic Controller  
PMV – Predicted Mean Vote  
Ppm – Partes por milhão  
PUC-Rio Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
RNA – Redes Neurais Artificiais  
SCADA  
TC – Transformador de Corrente  
TCP/IP  
UN – United Nations  
UNL – Universidade Nova de Lisboa



# Introdução

## 1.1. Enquadramento e Motivações

O sector da construção representa em torno de 10% do PIB da UE e gera aproximadamente 20 milhões de postos de trabalho. Além disso, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO<sub>2</sub> em toda a Europa (European Commission, 2018a).

Segundo a Global Buildings Performance Network – GBPN, caso sejam aplicadas políticas energéticas sustentáveis com programas de apoio eficazes na garantia da redução dos gases emitidos pelo sector da construção, poder-se-á alcançar o maior potencial de mitigação de CO<sub>2</sub> relacionado com a energia dos edifícios. A GBPN estimou que até 2050, é tecnicamente possível se reduzir o consumo de edifícios em 30%, com o decréscimo das emissões associadas de CO<sub>2</sub> em aproximadamente 40%. Esta afirma ainda que esta projeção proporcionaria uma economia de 70% no consumo global de energia do parque imobiliário existente referente ao aquecimento e arrefecimento de espaços.

Tal panorama instiga a realização de investigação e estudos para desenvolver projetos com os advenços das tecnologias e aplicação das Key Enable Technologies (KETs), que em consonância com métodos construtivos eficientes sejam capazes de promover conforto térmico com o melhor desempenho energético

possível. A difusão e o desenvolvimento na utilização das KETs a fim de se construir Edifícios Inovadores (EI) mais eficientes e competitivos do ponto de vista económico pode tornar-se, portanto, uma alternativa interessantemente viável numa mudança de paradigma e métodos construtivos, promovendo assim um novo panorama que permita conceber uma qualidade de vida às pessoas com reduzidas emissões de gases promotores do aquecimento global.

## **1.2. Objetivo**

Investigar, aprimorar e comprovar a aplicação de KETs em condições reais de operação para o desenvolvimento e criação de modelos - no estado da arte – visando a obtenção de infraestrutura necessária para a construção e desenvolvimento de sistemas de controlo inteligentes de energia e controlo para a implementação em diferentes cenários de “Edifícios Inovadores” que sejam confiáveis e competitivos.

Para isso criou-se um protótipo que utilize de dados de um sistema de sensores e microeletrónica montados no laboratório 1.8, edifício de Electrotecnia, do campus da FCT no Monte da Caparica. Tal protótipo se constitui como infraestrutura capaz de monitorizar e supervisionar parâmetros de qualidade do ar, conforto térmico e desempenho energético do sistema a fim de fornecer dados úteis para uma gestão de conforto técnico e energia.

Espera-se que com o apoio de outros dispositivos, autómatos e softwares esta infraestrutura seja otimizada e aproveitada a fim de se conseguir o desenvolvimento de um sistema de controlo inteligente para a eficiência energética e conforto térmico da habitação.

## **1.3. Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação está dividida em 5 capítulos organizados da seguinte forma:

Capítulo 2 – Apresenta os diferentes cenários de aplicabilidade da automação e de como esta pode ser empregada na concepção de Edifícios Inovadores. Realiza também a abordagem de tecnologias existentes, hardwares, softwares e protocolos de comunicação que integram um sistema de automação para a supervisão, otimização e controlo das utilidades de uma edificação para atingir otimização de seus serviços e principalmente atingir eficiência energética e conforto térmico.

Capítulo 3 – Detalha o Projeto SUDOKET, suas metas, planos e área de automação para promover o desenvolvimento regional do Sudoeste Europeu para atingir os seus objetivos. Neste capítulo também serão detalhadas características construtivas e seus respectivos sistemas de automação que serviram de inspiração para a construção de um sistema de automação voltado à eficiência energética e conforto térmico.

Capítulo 4 – Apresenta o Estudo de Caso dessa dissertação que teve como objetivo construir um sistema de automação que servirá como uma primeira camada para a construção de um controlador inteligente de energia e conforto térmico. Neste capítulo são detalhadas as características dos hardwares, softwares empregados e as funcionalidades do controlo automático implementado.

Capítulo 5 – Apresenta as conclusões acerca da infraestrutura montada e os objetivos realizados. Como complemento aponta caminhos de trabalhos futuros desenvolver o controlador pretendido.





## Revisão Bibliográfica e Estado da Arte

Neste projeto, tenciona-se desenvolver automação a fim de sustentar e promover meios para o posterior desenvolvimento de um sistema inteligente (machine learning) a fim de atingir o conforto térmico e ao mesmo tempo promover a melhor eficiência energética para tal fim. Assim pretende-se utilizar de sensores de qualidade do ar, temperatura, luminosidade, presença (tecnologias denominadas KET's - Key Enabling Technologies) e outros sistemas de montagem e dispositivos que serão descritos mais adiante.

Com essa meta, é necessário atentar para alguns pontos da bibliografia:

- Automação – Conceito, temáticas industrial e residencial de sistemas de automação e exploração do funcionamento de Edifícios Inovadores, seus sistemas e subsistemas.
- Inteligência Computacional – História, aplicações e utilização de redes neurais para resolver problemas matemáticos complexos com dados não lineares como parte essencial para desenvolver um controlador energia e conforto térmico com capacidade de previsão de eventos.

- Conforto Térmico – Detalhar quais são os fatores e parâmetros capazes de interferir nessa avaliação e quais normas devem ser observadas para a criação de um modelo.

- Eficiência energética – Definição desse conceito, hardwares de apoio e políticas de incentivo no cenário Europeu.

## **2.1 Automação**

Automação se constitui basicamente na utilização de máquinas e computadores (sistemas de processamento) que são capazes de atuar sem a necessidade de intervenção humana. Ao longo dos anos, esta vem sendo largamente utilizada a fim de tornar processos mais eficientes e seguros e concomitantemente descartar qualquer falha e ou delays nos processos devido à ação humana.

### *2.1.1 Automação Industrial*

Henry Ford revolucionou o fabrico através da utilização de correias transportadoras. Tal revolução se configurou em um aumento de produtividade aliado à menores erros de processo na fabricação. No entanto o emprego da automação não é o fim da cadeia, e sim um processo dinâmico, uma vez que a variantes de produtos e a crescente complexidade desses levam paulatinamente à um planejamento mais complexo do processo (Anderl, R. 2012).

Devido ao supracitado, é razoável que Kardos et al. (2019) descreva o planejamento automático do processo como um dos tópicos mais difíceis. Durante séculos passados, a complexidade da produção industrial poderia ser descrita como alternadamente crescente e decrescente - por um lado, a quantidade de variantes do produto aumenta e, por outro, também o volume destas variantes aumenta. Assim ao longo dos anos os sistemas de automação têm evoluído a fim de acompanhar a variabilidade dos processos, produtos e tecnologias existentes.



A troca de informações entre o processo produtivo, o planeamento de negócios e a logística é conseguida por intermédio do desenvolvimento de arquiteturas industriais guiadas por dados. Assim, a pirâmide de automatização é a infraestrutura sugerida pela International Society of Automation (ISA-95) para fornecer esta interação em 5 camadas (ver Figura 2.1).

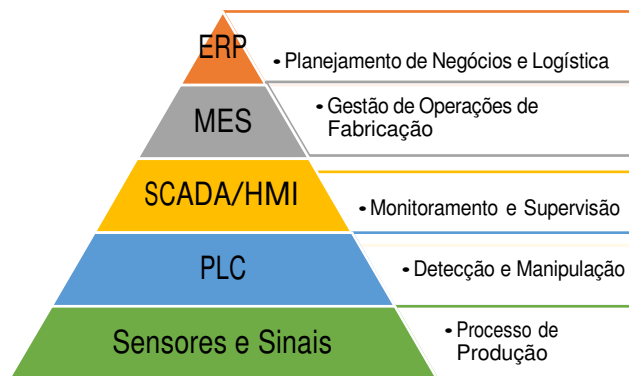


Figura 2.1: Pirâmide de Automação de acordo com ISA-95. Adaptado de ISA (2020)

A base da pirâmide, conhecida como camada de campo, é constituída por detetores/sensores. Utilizam-se tecnologias de identificação industrial, tais como códigos de barras e de identificação por radiofrequência (RFID) para rastrear e monitorizar os recursos, habilitando sistemas inteligentes com dados críticos em tempo real (Zhong et al. 2017). Na indústria farmacêutica, os detetores inteligentes estão igualmente a permitir uma perspetiva de Qualidade por Conceção (QbD) utilizando Tecnologias Analíticas de Processo (PAT) (O'Mahony et al. 2016).

Já na segunda camada têm-se os dispositivos que recebem os sinais dos sensores e atuam nos mais variados processos dentro da indústria. Os Programmable Logic Controllers (PLC) são computadores industriais robustos e de extrema fiabilidade. Os seus períodos de ciclo rápido e determinístico (<1 ms) permitem uma grande repetibilidade, o que os torna ideais até mesmo para as aplicações industriais mais exigentes, tais como o controlo de movimento.

Segundo a International Electrotechnical Commission (IEC61131-3) estes sistemas computacionais podem ser programados em cinco diferentes linguagens de programação:

- Ladder Diagram(LD) ;
- Instruction List (IL);
- Function Block Diagram (FBD);
- Structured Text (ST);
- Sequential Function Chart (SFC)

Com o intuito de receber dados dos sensores/detectores de campo e comandar dispositivos finais, como relés ou circuitos de comando, ou de enviar informação ao Sistema SCADA, os PLC's possuem entradas e saídas como mais 4-20mA (saídas ou entradas analógicas) ou RS-485, RS-422, Fibra Óptica (saídas ou entradas digitais).

Na seção intermediária há o Supervisory Control & Data Acquisition – SCADA. Neste estrato são recebidos dados dos controladores (PLCs) e sensores/detectores alocados nas variadas etapas da produção (Figueiredo and Sá da Costa, 2012).

A depender das características específicas dos dispositivos ou da arquitetura de projeto, a comunicação entre estes dispositivos e a “sala de controlo” pode ser concretizada através dos mais variados protocolos de comunicação e montagem físicas (serão abordados alguns exemplos destes mais adiante). Nesta camada os operadores têm acesso em tempo real às variáveis do processo através de telas (Human-Machine Interface), softwares de desenvolvimento, painéis

de alarme e comando que permitem ação remota, seja visando a segurança na cadeia produtiva e ou atingimento do alvo da especificação de produto.

Assim, a quarta camada da denominada “fábrica inteligente” integra-se às demais com o intuito de produzir o material/insumo de forma rápida, adequada, controlada e da forma prevista. Esta camada é responsável não somente pela fabricação efetiva do produto, mas também pela recolha, armazenagem e disponibilização de dados cruciais ao processo de fabricação, fornecer uma visão detalhada das etapas do processo e aplicar de maneira consistente e repetitiva os requisitos do processo até que estes sejam propositadamente alterados (Almada-Lobo 2016). Esta camada é denominada Manufacturing Execution System (MES) que é descrita pela Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA) da seguinte maneira:

“Um Manufacturing Execution System (MES) é um sistema de informação dinâmico que impulsiona a execução eficaz de operações de fabrico. Utilizando dados atuais e precisos, o MES guia, desencadeia e informa sobre as atividades da fábrica à medida que os eventos ocorrem. O conjunto de funções MES gere as operações de produção desde a libertação do ponto de encomenda até ao fabrico, passando pelo ponto de entrega do produto em produtos acabados. MES fornece informação crítica sobre as atividades de produção a outras pessoas em toda a organização e cadeia de fornecimento através de comunicação bidirecional”

No topo da pirâmide estão os ERPs - Enterprise Resource Planning systems que fornecem aos gestores capacidade para o melhor planeamento dos recursos, gerenciamento da qualidade, uso adequado das ferramentas no chão de fábrica, gestão do equipamento e dos cronogramas da mão-de-obra, e intervenções rápidas em caso de perturbações e eventos não previstos. Estes sistemas que foram alimentados por todos os dados e ações das etapas abaixo destas, formam assim um pacote modular e completo de ferramentas de aplicação responsáveis pela direção dos principais processos empresariais de uma “indústria inteligente”. Na

atualidade, muitas aplicações assentam na exploração de conhecimentos úteis dos dados primários do ERP com aprendizagem de máquinas e ferramentas de mineração de dados (Witten et al., 2011).

### *2.1.2 Automação Domótica*

A automatização domótica, igualmente denominada automatização residencial, é um termo derivado da união das palavras "domus", que em latim significa casa, e robótica. A concepção deste baseia-se na recolha de dados, oriundos de variáveis sensores, que serão processados e analisados a fim de controlar e prover a automação de múltiplos sistemas de uma casa, com a ajuda de uma interface, em função dos gostos, hábitos e necessidades dos utilizadores. (Gill et al., 2009; R. Nunes e Delgado, 1998; Sultan e Nabil, 2016).

Em 1984 a American Association of House Builders criou o termo "Smart Home" devido as grandes inovações que surgiam e a grande demanda. Com o avanço dos componentes de automação (smart meters and smart devices) conjugado às inovações tecnológicas, como por exemplo, a comunicação sem fio conectada à internet de alta velocidade (ADSL, Satélite, fibra óptica,...), a tecnologia domótica expandiu seus horizontes de forma que seus sistemas são desenhados não somente para controlar sistemas ambientais como iluminação e o aquecimento, mas também gerir comunicação, vídeo, segurança, entretenimento, consumo energético e contacto com o mundo exterior. Como consequência permite também monitorizar as atividades dos habitantes para o controlo e operação independente dos dispositivos, seja por padrões pré-definidos pelo ocupante, seja de forma independente. (D. Bonino e F. Corno, 2010).

A composição de um ambiente residencial inteligente (vide Figura 2.2) inclui dispositivos tais como plugs, switches, sensores/detectores, aparelhos domésticos inteligentes, atuadores de porta, luzes e um gateway que possibilita a implementação de interconectividade de toda a cadeia a fim de fornecer um comportamento inteligente. A comunicação destes componentes com o intuito de fornecer controlo e operações de funcionalidade de dispositivos, podem ser

executados por diversos protocolos de comunicação onde cada um possui sua especificidade, mas para este tipo de aplicação, muitas vezes a transferência de dados e comandos é baseado em IP.

### *2.1.3 Edifícios Inovadores (EI)*

Os edifícios inovadores, sejam os Edifícios inteligentes e ou os Net-Zero Energy Buildings (NZEB), visam promover a redução do consumo de energia primária utilizada tentando manter o nível de produtividade e conforto ótimos para os habitantes, acarretando assim em uma maior eficiência energética e melhor controle e funcionamento de seus serviços e sistemas.

O termo edifício inteligente foi utilizado pela primeira vez em 1981, nos EUA, pela Technology Building Systems Corporation. Em 1983 o City Place Building, em Hartford, Connecticut (EUA) foi caracterizado como o primeiro edifício inteligente. Desde então, muitos conceitos foram propostos para se definir um EI. Diferentemente do conceito inicial que se baseava apenas ao emprego de dispositivos tecnológicos e automáticos, as filosofias mais recentes levam em conta requisitos dos ocupantes e a interação desses com o ambiente à sua volta. (E. Asadian and A. V. Ardebili, in *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, 2018).

De acordo com o Intelligent Building Institute of the United States, um Edifício Inteligente pode ser definido como:

“Um edifício que proporciona um ambiente produtivo e económico através da otimização de quatro elementos básicos, incluindo estruturas, sistemas, serviços e gestão, bem como as inter-relações entre eles”

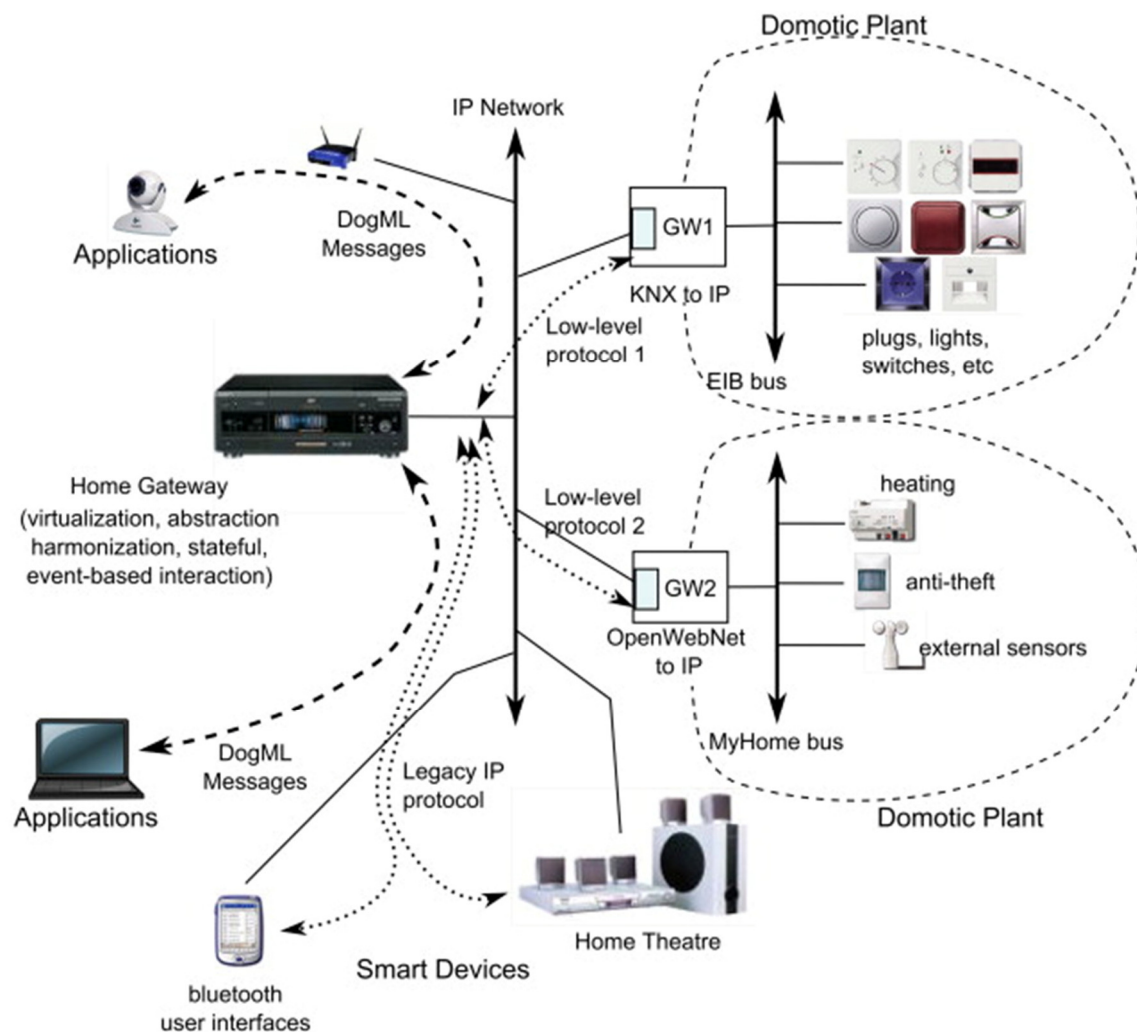


Figura 2.2: Ilustração ambiente residencial inteligente. Bonini (2018).

Por sua vez, os NZEB são definidos pela Energy performance of buildings directive da EU da seguinte maneira:

“Um NZEB tem um desempenho energético muito elevado com uma quantidade quase nula ou muito baixa de energia necessária coberta em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”.

Embora por definição os NZEB e os Edifícios Inteligentes pareçam diferir no conceito, ambos envolvem a instalação e utilização de sistemas de tecnologia de

construção avançados e integrados. Estes sistemas incluem a automação de edifícios, segurança de vida, telecomunicações, sistemas de utilizadores, e sistemas de gestão de instalações que se integram entre si. (James Sinopoli, 2010).

Para a correta integração de sistemas heterogêneos e gestão dos parâmetros que monitorizam o aquecimento, a iluminação, ventilação, segurança, serviços de vídeo, entre outros, os edifícios inovadores possuem, portanto, uma estrutura hierárquica que normalmente é composta pelas seguintes camadas, ver Figura 2.3 (Motjaba Navvab And Stefano Panzieri, 2019):

- Nível mais elevado (Gestão) – Dedicar-se à gestão do edifício, seja em situações de emergência, seja para a operacionalização dos eventos em condições normais;
- Nível intermédio (Automação) – Constitui-se basicamente dos sistemas de automação que através de softwares e hardware instalados possuem a capacidade de controlo, supervisão, e coordenação do edifício. Compõem este nível: Sistema de Automação de Edifícios (Building Automation System – BAS ou Building Management System – BMS); Sistemas de Gestão de Energia (Energy Management System – EMS); Sistema de Gestão de Comunicações (Communications Management System – CMS) e Automação de Escritórios (Office Automation – OA);
- Nível mais baixo (de campo) – É constituído dos subsistemas, como AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), iluminação, alarme de incêndio, sistemas de comunicação.

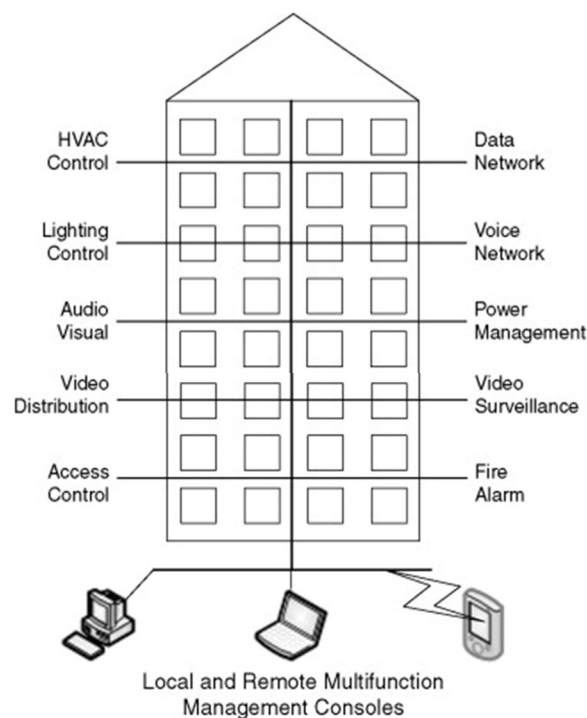


Figura 2.3: Interface locais e remotas de gestão integrada. Sino (2010)

## 2.2 *Building Management System (BMS)*

Os BMS ou Building Automation Systems – BAS monitorizam, supervisionam, controlam e informam sobre sistemas de tecnologia implantados em um Edifício Inovador, mantendo parâmetros predefinidos e o devido controlo de funcionalidade. Tendo como objetivo atuar na segurança e funcionamento das instalações, estes sistemas otimizam a eficiência de seus subsistemas supervisionados (John Joseph, 2018).

O software proporciona a camada de ligação entre os hardwares de informação e a camada de aplicação inteligente.

Estes sistemas podem incluir o controlo de acesso, vigilância por vídeo, alarmes de incêndio, controlo AVAC, iluminação programável, sistemas mecânicos e gestão de energia eléctrica (James Sinopoli, 2010).

São exemplos dos principais subsistemas controlados pela BMS (John Joseph, 2018):



- Sistema AVAC. Estão sendo monitorizados pelo BMS dados como temperatura, pressão e humidade da conduta, assim como a temperatura de exaustão. Qualquer anormalidade e se os limites definidos forem ultrapassados é gerado um alarme e ou atuação automática para atingir parâmetros de conforto térmico;
- Sistema Central de Vácuo e Sopradores de Calor. O desempenho desses sistemas é supervisionado pelo BMS para identificar de maneira antecipada unidades que necessitam serem mantidas. Qualquer variação dos parâmetros predefinidos pode acionar alarmes para que medidas sejam tomadas;
- Sistema de Água Quente e Aquecimento Central. A supervisão da temperatura e do controlo do caudal da bomba através da BMS permite um funcionamento adequado da distribuição de água quente através da instalação;
- Sistema de Água Refrigerada. O BMS supervisiona e realiza controlo dos refrigeradores da instalação. Assim consegue atuar no controlo de temperatura da água e ou gás refrigerante. Pode controlar também o caudal e distribuição adequada da bomba para a distribuição adequada dentro do circuito de distribuição;
- Sistema de aspersores (para segurança contra incêndios);
- Sistema de Monitorização Eléctrica. O BMS pode monitorizar a energia eléctrica consumida e o estado dos interruptores eléctricos principais.

### **2.3      *Building Energy Management Systems (BEMS)***

Os BEMS ou Energy Management Systems (EMS) possuem um amplo conceito de controlo de edifícios, e pode ter uma variedade de características. Entretanto, o termo BEMS está limitado à utilização de sistemas de controlo sofisticados e avançados (IEA, 1997). Por conseguinte, enquanto todos os edifícios requerem e podem possuir alguma forma de sistema de gestão, a tecnologia BEMS é substancialmente diferente dos sistemas de controlo convencionais, devido a sua

plataforma estar voltada aos equipamentos e serviços que influenciam nos gastos energéticos e sua característica da comunicação: a informação dos processos e funções do edifício pode ser recebida e controlada numa unidade operacional central e única (IEA, 1997).

Estas plataformas possuem o objetivo de melhorar a eficiência energética das instalações através da detecção, monitorização e controlo dos gastos energéticos e seus custos agregados (Levermore, 2000; Mansson e McIntyre, 1997).

Os BEMS calculam e apontam aos utilizadores do sistema indicativos de onde estes podem atuar na redução do consumo energético, dando uma visão geral do consumo de energia global de um edifício e inclusivamente os pormenores de equipamentos que possam estar a funcionar de maneira defeituosa ou ineficiente. Esta supervisão é suportada a partir da análise de dados oriundas de sensores sem fios instalados, comportamentos dos habitantes e fatores internos ou externos à edificação. (Doukas et al., 2007; Levermore, 2000; Mansson e McIntyre, 1997).

## **2.4 Protocolos de Comunicação**

Um protocolo de comunicação constitui um conjunto de regras que permite a transferência de informação através de qualquer tipo de variação de uma quantidade física. Cada protocolo possui especificidade na no meio físico utilizado, sintaxe, sincronização e empacotamento de dados para comunicação. Estes podem ser implementados por softwares e hardware e ou por uma combinação de ambos (Licesio J. Rodríguez 2013).

As normas de comunicação para sistemas BMS e BEMS incluem diferentes protocolos de comunicação e podem ser realizadas de através de variadas implementações físicas. Destacam-se nessa seção, portanto, alguns protocolos usuais para a realização de um sistema de gestão e automatização de campo de edifícios inovadores.

### *2.4.1 BACnet*

BACnet é um protocolo de comunicação de dados para a automatização de edifícios e redes de controlo. BACnet possui protocolo aberto que suporta funções como programação, definições de alarme, e tendências. Este protocolo consegue interoperabilidade através de uma vasta gama de equipamentos graças a três partes principais: um método para representar qualquer tipo de automação de edifícios de uma forma padrão; um método para definir mensagens através de uma rede informática para monitorizar e controlar equipamentos; um conjunto de arquitecturas LAN para transmitir a comunicação BACnet (Mojtaba Navva and Stefano Panzieri, 2019).

Uma das peculiaridades das mensagens BACnet é que elas podem ser transportadas por qualquer tecnologia de rede: Ethernet (ou IEEE 802.3) a 10/100/1000 Mbps, ARCnet a 2,5 Mbps, rede slave master/token passing (MS/TP) a 1 Mbps, protocolo ponto-a-ponto (PTP) para utilização através de linhas telefónicas ou ligações EIA-232 com fios, rede proprietária da Echelon LonTak, ou tecnologia sem fios ZigBee. (Mojtaba Navva and Stefano Panzieri, 2019).

### *2.4.2 Modbus*

Modbus é um protocolo surgiu inicialmente para a automatização industrial, e é capaz de suportar protocolos de seriais (RS- 485, RS-232 ou RS-422) e Ethernet. Os dispositivos que empregam este protocolo comunicam utilizando uma técnica master-slave na qual apenas um dispositivo, denominado de mestre, pode iniciar as consultas de informações. Por sua vez, outros dispositivos, os escravos, respondem fornecendo os dados solicitados ao mestre, ou tomando a ação solicitada na consulta. Um escravo é qualquer dispositivo periférico (transdutor, válvula, unidade de rede, sensor etc.), que processa informação e envia a sua saída para o mestre utilizando o Modbus (Mojtaba Navva and Stefano Panzieri, 2019).

O Modbus pode correr sobre quase todos os meios de comunicação, incluindo fios de par trançado, wireless, fibra óptica, e Ethernet. O Modbus é amplamente utilizado e bem estabelecido em edifícios tanto quanto no ambiente industrial (Mojtaba Navva and Stefano Panzieri, 2019).

### *2.4.3 Zigbee*

O protocolo ZigBee é uma solução de rede sem fios e ocupa a mesma banda não licenciada que Wi-fi e ZigBee. Se destaca por possuir simples instalação e ter um baixo custo agregado, uma vez que sua configuração é automática. Utiliza diversas tipologias de rede e configurações tais como estrela, malha ou árvore de cluster) com alcance de comunicação direta de 10 a 75 metros para edifícios típicos. As conexões entre os dispositivos possuem boa fiabilidade enquanto apresenta consumos baixos de energia e pouca demanda de manutenção. O funcionamento via radiofrequência se configura como uma desvantagem em ambientes onde possa haver outros aparelhos que também se comuniquem por rádio devido a possibilidade de interferências no sinal. (Saleiro e Ey, s.d. e Mojtaba Navva and Stefano Panzieri, 2019).

### *2.4.4 EnOcean*

Assim como a Zigbee a EnOcean se configura como uma tecnologia wireless, no entanto esta foi pioneira no conceito relativo ao consumo de energia por apresentar módulos alimentados por energia solar ou sensores de botão acionados por elementos piezoelétricos (Mojtaba Navva and Stefano Panzieri, 2019).

Possui taxa de dados elevada (120 kbit), juntamente com uma carga útil máxima de 6 bytes e assegura uma curta duração de transmissão de quadros (abaixo de 1 ms). Isto não só minimiza o consumo de energia, como também resulta numa baixa probabilidade de estatística de colisões. Os módulos de rádio disponíveis não parecem suportar mecanismos de segurança e na União Europeia

opera na banda de 858 MHz enquanto no Canadá, por exemplo, utiliza a banda de 902 MHz. (Mojtaba Navva and Stefano Panzieri, 2019).

## **2.5 Inteligência Artificial (IA) e Redes Neurais**

Para o posterior desenvolvimento de um controlador de energia e conforto térmico faz-se essencial explorar e entender as estratégias de machine learning e inteligência artificial e como elas funcionam a fim de não somente se obter uma automação de funcionamento baseado em regras, mas também de proporcionar que aos dispositivos computacionais tenham independência para atuar dispositivos a partir de um aprendizado proporcionado por dados de sensores e comportamento/feedback de ocupantes.

### *2.5.1 História IC*

A IC (Inteligência Computacional) é um campo que começou nos anos 50 do século passado. Foi originalmente definido por meio do chamado Teste de Turing. Neste teste, proposto por Alan Turing em 1950, um computador passaria no teste se um interrogador humano, depois de fazer algumas perguntas escritas, não pudesse dizer se as respostas escritas vieram de uma pessoa ou de um computador (Turing, A 1950). Juntamente com o campo de Segurança e Conectividade Digital, a IA foi adicionada em 2018 pela Comissão Europeia como uma Tecnologia de Ativação Chave (KET), à lista dos seis KETs atualmente existentes que foram originalmente definidos em 2009, a saber, Tecnologias Avançadas de Fabricação; Materiais avançados; Nanotecnologia; Micro / nano eletrônica; Biotecnologia industrial; e fotônica (Directorate-General for Research and Innovation, 2018).

Para um computador passar no teste de Turing, por exemplo, seria necessário ter:

- I. Processamento de linguagem natural, para poder se comunicar com o ser humano;
- II. Representação do conhecimento, para armazenar seu conhecimento e o que foi dito a ele;
- III. Raciocínio automatizado, para usar as informações armazenadas para responder perguntas e obter novas conclusões;
- IV. Mecanismos de aprendizado de máquina, para aprender com novas experiências, detectando e generalizando padrões;
- V. Outro teste foi chamado de Teste de Turing Total, onde imagens poderiam ser mostradas no computador e objetos físicos passados. Isso exigiria duas outras funcionalidades:
  - a. Visão computacional;
  - b. Robótica, para manipular objetos.

Esses seis campos descrevem a maior parte da Inteligência artificial (Turing, A 1950).

Devido ao avanço nesta área e o clamor de uma mudança de paradigma de estilo de vida e sustentabilidade, o uso de máquinas inteligentes favorecidas com os recursos de aprendizado, raciocínio e adaptação já está no centro de muitos setores de atividades que adotaram as mais recentes tecnologias da informação. A Inteligência Artificial (IA) alcançou níveis sem precedentes de desempenho, aprendendo a resolver tarefas computacionais cada vez mais complexas, tornando-se ferramentas essenciais para o desenvolvimento futuro da sociedade.

A expectativa é que a IC apoie instituições governamentais, indústria e até o setor privado com recursos computacionais com características de acesso dinâmico para permitir a criação de novas tecnologias que atendam às demandas científicas, saúde, desenvolvimento sustentável, cidades inteligentes, gerenciamento de tráfego, etc. (T.L. Casavant, J.G. Kuhl , 1988).

### 2.5.2 Descrição e funcionamento das Redes Neurais Artificiais (RNAs)

Para se desenvolver um controlador inteligente de energia e conforto é digno de nota e imprescindível abordar o funcionamento das redes neuronais e como estes “neurônios” artificiais funcionam para correlacionar dados não lineares a fim de prever comportamentos e ou valores.

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) compõe uma das muitas técnicas de IC e são basicamente sistemas de processamento de informações inspirados em redes neuronais biológicas. As RNAs implementam modelos matemáticos com base nas seguintes premissas:

- A informação é processada em elementos nucleares chamados perceptrons (neurônios artificiais);
- Sinais são passados entre perceptrons através de links de conexão (sinapses artificiais);
- Cada conexão tem um peso associado, que geralmente é multiplicado pelo sinal transmitido;
- Cada perceptron aplica uma função de ativação (geralmente não linear) à sua entrada líquida, isto é, a soma dos sinais de entrada ponderados, para produzir uma saída, conforme Figura 2.4. Portanto, essa é apenas uma função não linear de uma soma de entradas ponderadas (Marvin Minsk, 1969).

A representação típica de um perceptron é a seguinte, com uma entrada de polarização, ou sem ela:

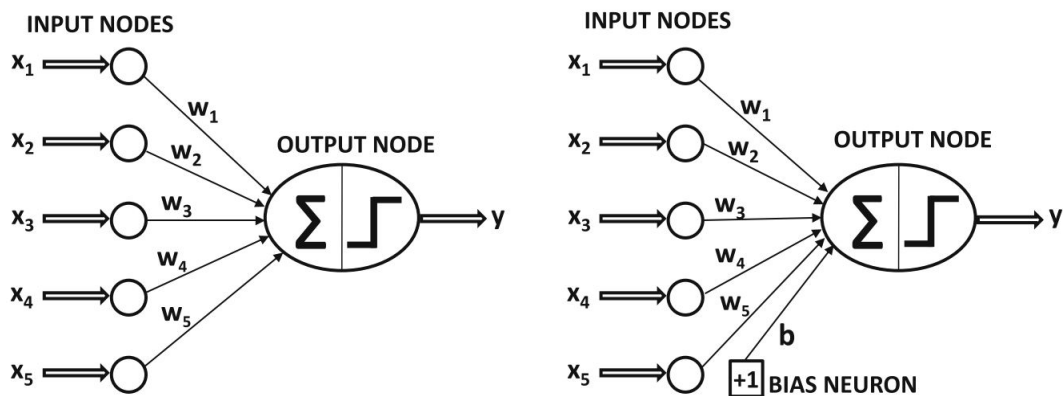


Figura 2.4: Representação de um perceptron sem (esquerda) e com (direita) entrada de polarização. Springer (2018)

Assim, as redes neurais podem resolver problemas matemáticos complexos, e relacionar diferentes variáveis de entrada e saída (e seus determinados pesos) para inferir no desempenho de sistemas de maneira inteligente e preditiva.

## 2.6 Conforto Térmico

Segundo a norma ISO 7730, “conforto térmico é o estado de alma que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Tal definição permite o entendimento de que não somente a temperatura tem influência na satisfação de quem a sente. Para uma completa análise da subjetiva percepção da sensação térmica se torna necessário atentar para fatores mensuráveis “ambientais”:

- Temperatura do ar;
- Velocidade do vento;
- Humidade relativa;
- Temperatura Radiante (através da radiação de fachada).

Como também de fatores não-mensuráveis:

- Estado mental;
- Hábitos;
- Educação;



- Atividade laboral;
- Taxa metabólica;
- Roupas do indivíduo (isolação térmica).

Sendo assim, a sensação de conforto térmico pode variar bastante de uma pessoa para outra, mesmo que elas estejam sob as mesmas condições térmicas (Khedari, J.; Yamtraipat, N.; Pratintong, N.; Hirunlabh, J, 2006).

O conforto térmico também pode sofrer influência da geometria de um determinado ambiente fechado. A natureza do processo térmico é distribuída e cada ocupante de uma sala teste, por exemplo, encara diferentes nichos de desconforto, a destacar alguém que está alocado à saída de um duto de um aparelho de ar condicionado, e conseqüentemente com a incidência direta de uma forte corrente de ar frio experimentará uma sensação muito diferente de alguém, que comparativamente estará sentado próximo à janela com incidência direta do sol. Desta forma, destaca-se a geometria de uma sala com antagônicos locais de desconforto. Para que o conforto térmico seja atingido em ambientes internos, o uso de normas se faz estritamente necessário (Silva, P. C. P. da, 2006).

Diante do exposto, para a predição de conforto térmico e desenvolvimento de sistemas inteligentes, faz-se imprescindível a monitoração dos fatores ambientais (físicos) como também da percepção dos ocupantes diante das condições a que estão sujeitos.

### *2.6.1 Dispositivos para medição de fatores ambientais para o*

#### *Conforto Térmico*

Algumas tecnologias têm de ser empregues ao sistema inteligente para controlo de energia vs. conforto térmico. Serão apresentadas assim alguns dispositivos comumente usados para este fim.

Este são habitualmente utilizados e se configuram como tecnologias facilitadoras que devem ser empregadas em um sistema inteligente que opere com

estratégia de predição, uma vez que, fornecerão dados essenciais para a modelagem matemática e operação do controlador a fim de atingir o conforto térmico em consonância com a poupança de energia.

### Temperatura do Ar

Conforme já exposto anteriormente, o conforto térmico não depende somente deste parâmetro, no entanto a temperatura do ar em um ambiente indoor é de suma importância para a modelagem matemática e, portanto, dado de entrada essencial para um sistema de predição de conforto térmico.

O Sensor do tipo PT100 (ver Figura 2.5), é um exemplo de dispositivo comumente utilizado no mercado e opera pelo princípio de um termo resistência, ou seja, da relação de resistência elétrica de um material e sua temperatura. Normalmente são construídos em platina e a temperatura do ambiente é diretamente proporcional à resistência elétrica que está a ser medida no dispositivo.

A Norma Internacional ISO 7730:2005 recomenda que a temperatura em um ambiente ocupacional esteja dentro dos limites de 18 a 25 °C (graus Celsius).



Figura 2.5: Modelo de PT100. Omicron (2020)

Pode ser instalado dentro do ambiente, e na fachada do ambiente, a fim de ser ter mais dados em redes neuronais e através do emprego de um sensor de fluxo de calor (condutividade térmica), ter-se uma predição instantânea para o conforto térmico baseado nesses parâmetros de medição.

## Humidade Relativa

A humidade também tem significativa relação com o conforto térmico e sua medida direta é dada pelo higrómetro. Este está enquadrado em cinco grandes grupos: os psicrómetros, os higrómetros de absorção, os higrómetros de condensação, os higrómetros elétricos e os higrómetros químicos.

Devido ao seu baixo custo e por questão de simplificação de hardware, muitas vezes é instalado um dispositivo que realiza a medição direta de temperatura e humidade (Termo higrómetro) conforme Figura 2.6.

A medição de lúmens não interfere no conforto térmico, porém é medida essencial para um sistema inteligente que visa a eficiência energética, uma vez que esse dado pode ser usado em malha de controle para abrir persianas/estores automaticamente e utilizar da iluminação natural, por exemplo, economizando assim o consumo utilizado para iluminação.

A ISO 7730 estipula que para fins de saúde ocupacional a humidade relativa de um ambiente interno esteja entre 50 a 70%.



Figura 2.6: Sensor de temperatura de ambiente, humidade relativa e Lúmens. Schneider Electric (2020b)

## Sensor de Fluxo de Calor

É um transdutor que gera um sinal elétrico proporcional ao fluxo de calor aplicado na superfície. O fluxo de calor medido é dividido pela área de superfície fixa do sensor para determinar a densidade do fluxo de calor. Um exemplo deste dispositivo pode ser visto na Figura 2.7.



Figura 2.7: Placa de fluxo de calor típica. Fluxteq (2020)

### *2.6.2 Predicted Mean Vote (PMV)*

A avaliação de conforto térmico é subjetiva e varia de pessoa a pessoa. Não somente relaciona-se com a atividade laboral, mas principalmente com a sensação que cada um experimenta em um determinado ambiente.

As abordagens clássicas baseadas em princípios da termodinâmica, utilizam do modelo PMV de Fanger (Fanger PO, 1970). Isto é normalmente usado para controles baseados em pontos de ajuste. De acordo com o modelo PMV, existem seis fatores de conforto térmico, a temperatura do ar, a temperatura de radiação, humidade, velocidade do ar, taxa metabólica e vestuário de ocupantes (isolamento térmico).

Assim, para fins de predição de conforto térmico subjetivo, este não deve estar relacionado somente às condições internas medidas pelos sensores, mas também a partir da percepção (sensação térmica) do(s) usuário(s) específico(s) de

uma sala, por exemplo, ao longo do dia. Um Índice de Sensação Térmica (EST), veja a Figura 2.8, será deduzido do comportamento do usuário (aumentando ou diminuindo o ponto de ajuste da temperatura interna para determinadas condições de temperatura e umidade) ou diretamente pelo feedback do usuário.

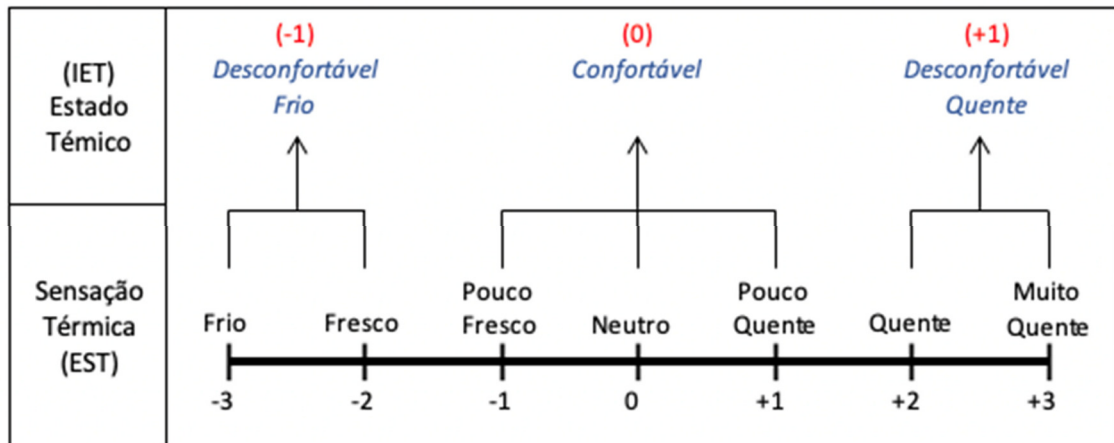


Figura 2.8: Escala ASHRAE de Sensação Térmica e respetivo Índice de Estado Térmico. Adaptado de Fanger (1970)

## 2.7 Eficiência Energética

Os edifícios contribuem com cerca de 40% do consumo global de energia e cerca de um terço das emissões globais de efeito estufa; e esta contribuição está prevista para acelerar ainda mais na próxima década (Yang L, Yan H, Lam JC, 2014). O principal consumidor de energia dentro de um edifício, respondendo por 40 a 60% da demanda de energia, é o sistema de ventilação por aquecimento e ar condicionado (AVAC) (Allouhi A, Fouih YE, Kousksou T, Jamil A, Zeraouli Y, Mourad Y, 2105). De facto, apenas os sistemas de climatização representam mais de 30% do uso global de energia (Seyboth K, Beurskens L, Langniss O, Sims, 2008). No entanto, apesar de tais gastos significativos com energia para o conforto térmico, apenas uma pequena seção de ocupantes relatou estar satisfeita com o ambiente térmico interno dos edifícios (Huizenga C, 2006). Assim, existe uma

disparidade generalizada entre o gasto de energia de um edifício e seu conforto térmico interno.

Diante do supracitado, os métodos construtivos e sistemas inteligentes em prol de uma melhoria no consumo da energia tem de ser revistos se pretende-se manter a filosofia de conforto térmico experimentados na atualidade.

### *2.7.1 União Europeia (UE) e as Políticas para Eficiência Energética*

Segundo a Agência Europeia do Ambiente, a União Europeia é o terceiro maior emissor de gases com efeito de estufa do mundo, a seguir à China e aos EUA. O setor da energia foi responsável por 78% das emissões de gases com efeito de estufa da UE em 2015 e os esforços comuns de atenuação são fundamentais, uma vez que as alterações climáticas afetam todos os países da UE.

A UE é um ator fundamental nas negociações da UN sobre o clima. Em 2015 ratificou o Acordo de Paris, o primeiro acordo universal de luta contra as alterações climáticas. O seu objetivo é atenuar as alterações climáticas, mantendo o aumento da temperatura global em 1,5°C em comparação com os tempos pré-industrializados.

No âmbito do Acordo de Paris a UE comprometeu-se a reduzir, até 2030, as emissões de gases com efeito de estufa na UE em, pelo menos, 40% relativamente aos níveis de 1990. A UE adotou várias medidas para atingir este objetivo.

Para atingir tal meta, é alvo dos países membros da UE atuarem diretamente no desempenho energético dos edifícios. Na sessão plenária de abril 2018, os eurodeputados votaram em medidas já acordadas com o Conselho para melhorar o desempenho energético dos edifícios. As principais alterações à diretiva sobre o desempenho energético dos edifícios são as seguintes (European Commission, 2018):

- Os Estados-Membros passam a ter de preparar estratégias nacionais a longo-prazo para apoiar a renovação dos edifícios. O objetivo é que até 2050 os edifícios da UE quase não utilizem energia;
- O uso de tecnologias inteligentes para reduzir o consumo de energia deve ser encorajado;
- Obrigação de estabelecer pontos de recarregamento para carros elétricos nos estacionamento dos novos edifícios.







## Projeto SUDOKET

Este capítulo descreve o Projeto onde esta dissertação está inserida, destaca algumas particularidades do nZEB, SOLAR XXI, e algumas filosofias de construção e de seus sistemas integrados para uma melhor eficiência energética e regulação da temperatura interna da habitação, bem como a metodologia aplicada para a construção de infraestrutura de automação e criação de regras pré-definidas de funcionamento que servirão de background para o posterior desenvolvimento de um controlador inteligente de energia e conforto térmico.

### **3.1 Projeto SUDOKET**

O projeto SUDOKET integra o Programa Interreg Sudoe, que por sua vez faz parte do objetivo europeu de cooperação territorial, e é financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), um dos fundos da política regional europeia.

O Programa explora as seguintes áreas (Sudoe Interreg - Interreg Program Sudoe, 2019a):

- Investigação e inovação;
- Competitividade das pequenas e médias empresas;

- Economia de baixo teor de carbono;
- Combate às alterações climáticas;
- Meio ambiente e eficiência de recursos.

Diante do Supracitado, o projeto SUDOKET se integra ao Interreg Sudoe especificamente na área de investigação e inovação. Tendo como principal objetivo: mapear, consolidar, e disseminar a aplicação de KETs a fim de tornar os Edifícios mais eficientes do ponto de vista energético e de seus serviços e que garanta, ao mesmo tempo, qualidade de vida e conforto térmico aos seus utilizadores.

### *3.1.1 Edifício SOLAR XXI*

Tornar um edifício mais “racional” e sustentável relativamente ao consumo de energia não depende somente de sistemas inteligentes, smart devices ou emprego de energias renováveis para autoconsumo, deve-se também levar em consideração o emprego de materiais ou estratégias construtivas que garantam o isolamento térmico das condições ambientais do exterior ou que promovam o seu controle e regulação com o mínimo gasto de energia eléctrica possível.

Devido a isto, é digno de nota explorar os sistemas empregados no SOLAR XXI, que por ser parte integrante do projeto SUDOKET, automatizou duas salas de teste a fim de promover investigação da utilização de KETs para energia e conforto térmico. Tal montagem serviu de inspiração e background para a infraestrutura de automação executada no estudo de caso desta dissertação. Adicionalmente detalhar alguns métodos dessa edificação fornece um ótimo complemento aos temas abordados no capítulo II no que se refere a Edifícios Inovadores.

#### Ventilação natural e resfriamento de salas

A ventilação natural das salas é controlada pela inclusão de motor de passo com codificador e transmissão mecânica nas persianas existentes acima da porta, vide Figura 3.1.

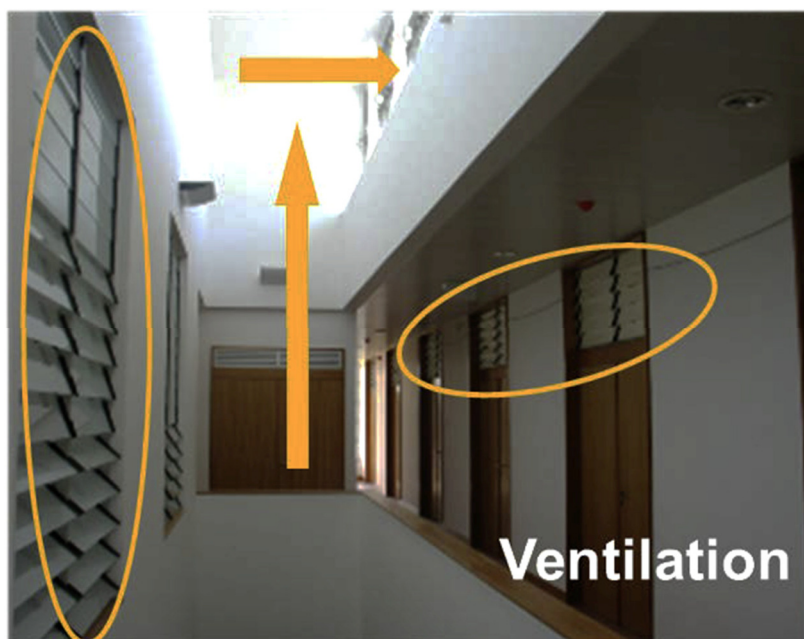


Figura 3.1: Ventilação Natural do edifício SOLAR XXI. LNEG (2020)

Além disso a edificação conta um “sistema controlado de resfriamento” que promove a entrada de ar frio proveniente de instalação de dutos enterrados, vide

Figura 3.2.



Figura 3.2: Sistema de Resfriamento (Dutos Enterrados SOLAR XXI). LNEG (2020).

Tal método construtivo permite à edificação resfriar seus ambientes internos sem a necessidade de recorrer aos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) comumente utilizados. Para isto utiliza-se banderias reguláveis para renovação de ar acima das portas.

Para resfriar os escritórios nos dias mais quentes, demanda-se somente o consumo eléctrico de ventoinhas na saída da montagem dos dutos enterrados e conseguinte entrada nas salas teste, para condução de entrada do ar “armazenado” abaixo da terra.

### Geração Própria de Energia (BIPV)

Com o intuito de gerar energia para o próprio consumo o SOLAR XXI instalou painéis BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) na fachada da edificação com capacidade instalada de 12 kWp, e também no estacionamento, onde os painéis solares possuem capacidade de 6 kWp, totalizando assim em 18 kWp em capacidade de geração. Vide figura 3.3 da fachada do SOLAR XXI.



Figura 3.3: BIPV (fachada do SOLAR XXI). LNEG (2020)

A montagem de painéis fotovoltaicos na fachada também permite, através de uma estratégia eficiente de ventilação e com um consumo energético de apenas uma ventoinha, reaproveitar o calor condutivo proveniente do aquecimento das placas fotovoltaicas, a direccionar este “ar quente” gerado atrás dos painéis para aquecer as instalações internas da edificação em períodos de inverno. Mais uma vez, tal filosofia é capaz de dispensar e ou reduzir substancialmente a utilização de aquecedores, quer seja por resistência (eléctrico), ou aquecimento de águas (caldeiras), por saber, grandes consumidores de energia eléctrica e

conforme já mencionado principais consumidores e por consequentes emissores de gases do aquecimento global. Tal estratégia de ventilação passiva pode ser verificada na figura 3.4, que varia de acordo com a estação do ano e obedecendo a filosofia de conforto térmico para esquentar ou resfriar os ambientes internos do envelope.



Figura 3.4: Esquema ilustrativo do funcionamento das diferentes configurações do sistema de BIPV. (a) Aquecimento do ar interior; (b) Aquecimento do ar exterior; (c)

Extração de calor dos módulos fotovoltaicos; (d) Arrefecimento do ar interior por efeito chaminé. Adaptado de Gonçalves, Cabrito e Diniz (2010)

O esquema da Figura 3.4, mostra o mecanismo utilizado a fim de troca de calor e consequente aquecimento ou resfriamento dos ambientes internos de uma edificação de um edifício inovador. Vale ainda ressaltar que a retirada de calor condutivo na região por detrás dos painéis fotovoltaicos promove uma melhor eficiência para a geração de energia elétrica pelo BIPV.

A tomar o SOLAR XXI como exemplo, denota-se como o aproveitamento do espaço útil das edificações para a produção de energia de autoconsumo, associada com métodos construtivos eficientes de reaproveitamento térmico e ventilação passiva, podem auxiliar a EU a atingir as metas acordadas no Acordo de Paris. O ganho direto seria não somente a utilização de energia produzida “localmente”, mas também na economia associada em substituir grandes consumidores de energia (equipamentos AVAC) por pequenos dispositivos mecânicos como ventoinhas que apresentam baixa potência e baixo consumo.

#### Sensor de Irradiância Incidente (*Pyranometer*)

A fim de se realizar medir a radiância solar que incide na fachada do SOLAR XXI, o LNEG instalou um piranómetro (vide Figura 3.5) a fim de se obter dados relevantes ao cálculo de predição de produção do BIPV deste NZEB. Este dispositivo é essencial para fornecer dados imprescindíveis para cálculo de geração fotovoltaica e assim fornecer dados úteis para a decisão de horários de consumo e ou carregamento de banco de baterias, e assim atuar na poupança e melhor eficiência energética de todo o sistema.



Figura 3.5: Pyranometer. PR Electronics (2020)

### Economia de lâmpadas e iluminação natural

A automação e dispositivos instalados no SOLAR XXI também tornam possíveis poupanças energéticas referente ao sistema de iluminação. Além disso, tal sistema pode estar em inter-travamento com o controle automático de persianas (vide Figura 3.6) e assim, aproveitar da possibilidade de aproveitamento da iluminação natural. As atuações pontuais de um motor de passo e em determinados momentos para abertura e controle da inclinação das persianas promove a iluminação natural necessária para se atingir uma luminosidade suficiente para o desenvolvimento do labor no ambiente interno do escritório, possibilitando uma poupança energética devido ao desligamento de lâmpadas nos dias mais claros.



Figura 3.6: Persianas operadas por motor de passo. SUDOKET (2018)

## 3.2 Metodologia

A fim de se construir uma infraestrutura de Automação para possibilitar o futuro desenvolvimento de um controlador de energia e conforto térmico em estratégia de controlo por predição foram e serão executados os seguintes passos.

- I. Comissionamento e Startup dos dispositivos de automação fornecidos;
  - a. Instalação dos dispositivos na sala 1.8 do Edifício de Eletrotecnia da FCT e integrá-los em comunicação com Software de Interface Humano-Máquina da Schneider;
- II. Criação de algoritmo que comande o sistema para interferir de maneira autónoma (controlo on/off) nas variáveis de conforto térmico e energia do laboratório 1.8. a partir de regras predefinidas com o intuito de atuar dispositivos e circuitos de ventilação, ventoinha de exaustão de CO<sub>2</sub> e ventoinha para ventilação e ou aquecimento;
- III. Possibilitar a recolha de dados de parâmetros de energia e conforto térmico para a posterior construção de modelos.





## Estudo de Caso

### 4.1 Infraestrutura de Automação

#### 4.1.1 *Hardware de Automação*

Esta seção descreve a especificação e funcionalidade dos dispositivos utilizados na montagem da infraestrutura de automação, a fim de se fornecer uma primeira camada de dados úteis para posterior desenvolvimento de um controlador inteligente para energia e conforto térmico.

#### Medidor de Energia e Transformador de Corrente

O medidor de Energia utilizado na montagem é o modelo iEM3255 (vide Figura 4.1) fabricado pela Schneider Electric. Este medidor permite a medição e supervisão do consumo em quatro diferentes registros podendo ser controlado por: Entradas Digitais (PLC ou utilitários fornecem o sinal), através da configuração do relógio interno ou através da comunicação com o Software IHM.



Figura 4.1: Medidor de Energia IEM3255. Schneider Electric (2019a)

O monitoramento da rede através do IEM3255 torna-o capaz de utilizá-lo para aplicações como medição de energia para importações ou exportações, medição de energia reativa, estado de alarme para impulsos medidos (kWh) através de saída digital e ser utilizado como contador parcial através de uma entrada digital configurável. Este possui ainda as seguintes especificações de trabalho:

I. Entradas do sistema de Alimentação

- Tensão Medida - 100-277 V L-N (Monofásica), 173-480V V L-L 20% (Delta: 173-480 V L-L 20%);
- Overload: 332 V L-N ou 575 V L-L;
- Frequência: 50/60Hz +/- 10%;
- Temperatura Mínima do Fio Requerida: 90 °C (194 °F)
- Consumo Mínimo Máximo do dispositivo: <1-VA;
- Cablagem: 2,5 mm<sup>2</sup>/ 14 AWG.

II. Entradas de Corrente

- Corrente Nominal: 1 A ou 5 A;
- Corrente Medida: 20 mA a 6 A;
- Frequência: 50/60 Hz +/- 10%;
- Carga: < 0,036 VA a 6 A.

A fim de não extrapolar a corrente máxima de 5A para a medição de energia pelo medidor, se fez necessário instalar um Transformador de Corrente (TC) combinado a este dispositivo à montante da carga que se pretende monitorar o consumo energético.

Assim utilizou-se o TC, modelo METSECT5CC005 (vide Figura 4.2) da Schneider Electric que possui como principal características:

- Tensão estipulada de funcionamento nominal: < 720 V CA, 50/60 Hz;
- Rácio de Transformação: 50/5 A;
- Precisão: 1 a 1,25 VA;
- Grau de Proteção IP: IP20 (Schneider Electric, 2019a).



Figura 4.2: Transformador de Corrente. Schneider Electric (2019a)

### Sensor de CO<sub>2</sub>

Para a detecção de CO<sub>2</sub> do ambiente interno do laboratório para fins de análise de parâmetros ambientais da qualidade do ar e conforto dos ocupantes foi instalado o sensor modelo SR04 CO<sub>2</sub>, (vide figura 4.3) fabricado pela Thermo-kon e distribuído pela Schneider Electric. Suas especificações incluem os seguintes dados técnicos:

- Sensor: NDIR (non dispersive, infrared)
- Alimentação Eléctrica: 15 – 24 Vdc
- Intervalo de Medição: 0 – 2250 ppm

- Tecnologia de Rádio (sinal): EnOcean (IEC 14543-3-10)
- Frequência: 868 MHz
- Grau de Proteção: IP30
- Temperatura de Operação: 0 a 50 °C (Thermokon, 2020)



Figura 4.3: Sensor de CO2. Thermokon (2020)

### Circuit Relay

O receptor de controlo remoto, modelo 02LINE 10020062, é normalmente utilizado para receber sinais de rádio provenientes de transmissores de comutação, sensores de contato de janela e ou outros smart devices que operem com a frequência de transmissão de 868,3 MHz. Possui uma saída (canal 1) que permite a ativação de cargas como incandescentes, halogênicos, balastros eletrônicos ou pequenos motores.

O 02LINE 10020062 (Figura 4.4) possui as seguintes especificações técnicas:

- Frequência de Transmissão: 868,3 Mhz;
- Alimentação Eléctrica: 230 Vac / 50 Hz;
- Saídas: Max. 2500 W incandescente;  
1200 W halogénico;  
600 VA indutivo;
- Temperatura de Operação: De -10 °C a +45 °C;
- Grau de Proteção: IP20.



Figura 4.4: Circuit Puck relay. Schneider (2020b)

### Sensor para deteção de abertura ou fechamento de portas e janelas

O sensor utilizado para identificar o status de abertura ou fechamento de portas ou janelas utilizado foi o de referência 10020032, fabricado pela O<sub>2</sub>LINE (Figura 4.5). Este compreende duas partes: um sensor alocado no invólucro maior e um magneto no menor. A aproximação ou afastamento destes invólucros envia automaticamente um sinal de rádio para informação de status.



Figura 4.5: Sensor de abertura de porta e janelas. Schneider (2019a)

Especificações técnicas do sensor:

- Frequência de Transmissão: 868,3 Mhz;
- Alimentação Eléctrica: Célula Solar (>100 lux por dia);
- Saídas: Máx. 2500 W incandescente; 1200 W halogénico ou 600 W indutivo;

- Temperatura de Operação: De -10 °C a +60 °C;
- Grau de Proteção: IP40.

### Sensor de Lux

A fim de se monitorar a iluminação do laboratório 1.8 tanto para verificar as condições ocupacionais para desenvolvimento laboral dos ocupantes quanto para posterior utilização dessa informação para um controlador inteligente foi instalado um sensor de lux de uso indoor, referência Schneider LSS10020053 (vide figura 4.6).

Este possui intervalo de medição de 50 até 1020 lux. Seu sinal é transmitido a partir do momento que há uma mudança igual ou superior à 20 lux e ou envia sinal de dado de leitura a cada 20 minutos se não houver nenhuma alteração neste parâmetro.



Figura 4.6: Sensor de Lux. Thermokon (2020)

Características técnicas do sensor de lux:

- Frequência de Transmissão: 868,3 MHz;
- Temperatura Ambiente: de -20 °C a +60 °C;
- Grau de Proteção: IP 54.

### Sensor de temperatura e humidade

Para o monitoramento da temperatura e humidade foi instalado um sensor, fabricado pela O<sub>2</sub>LINE e distribuído pela Schneider Electric, sob referência LSS10020041 (figura 4.7). Este possui uma fotocélula para alimentação elétrica

com uma necessidade mínima de 15 minutos à uma luminosidade maior que 100 lux por dia para carregar sua bateria interna. Um sinal em frequência de 868,3 MHz é transmitido sempre que há uma mudança de temperatura de  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Relativamente à humidade um sinal é enviado imediatamente quando há alteração de  $\pm 2\%$ . Em caso de não haver alterações nos parâmetros de temperatura e humidade o sensor retransmite o sinal de leitura a cada 15 minutos.



Figura 4.7: Sensor de temperatura e humidade. Schneider (2019a)

Especificações técnicas do sensor:

- Frequência de Transmissão: 868,3 MHz;
- Alimentação Elétrica: Fotocélula – Exposição  $> 100$  lux em média por dia;
- Temperatura Ambiente: de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Grau de Proteção: IP 40.

### Sensor de Ocupação

A informação de ocupação é essencial para uma malha de controlo voltada à eficiência energética. Caso a sala não esteja ocupada, um sistema inteligente pode atuar em aparelhos e ou dispositivos com o intuito de desligá-los ou reduzir a potência de trabalho a fim de se obter poupanças energéticas. Devido a isto foi instalado um sensor de presença, modelo O2LINE 1002005, no lab 1.8 para identificar a ocupação da sala. Este sensor, Figura 4.8, possui capacidade para detetar presença ou movimento em uma área de até 10 metros de diâmetro deste que seja instalado em um teto com pé direito de no máximo 3 metros de altura.



Figura 4.8: Sensor de ocupação. Schneider (2019a)

Outras características técnicas do sensor:

- Frequência de Transmissão: 868,3 MHz;
- Alimentação Elétrica: Focélula – Exposição > 500 lux durante 20 minutos por dia ou bateria tipo CR2032;
- Temperatura Ambiente: de -10 °C a +40 °C.

### MPM-UM Multi- Purpose Manager

O MPM-UN é um dispositivo eletrónico concebido para monitorizar e controlar vários dispositivos finais para aplicações de automação de edifícios. O “Gestor” consiste de uma placa de circuito impresso alojada num invólucro de plástico. Os conectores externos estão disponíveis para o seguinte:

- 6 entradas universais;
- 4 saídas analógicas;
- 2 saídas binárias (contacto seco);
- LAN (cabo Ethernet);
- Dispositivo RS-485 (Modbus);
- CANbus;
- Fornecimento de energia.

O MPM (Figura 4.9) é compatível com BACnet (IP/Ethernet) e oBix. O dispositivo tem módulos sem fios opcionais para permitir a comunicação bidireccional com dispositivos EnOcean e ZigBee. Além disso, estes podem comunicar entre si sem fios, utilizando os seus módulos ZigBee. Os seus recursos, permitem dessa



maneira aos Gestores e Empreiteiros de instalações instalar e gerir soluções integradas de AVAC, iluminação e medição. São também uma ligação rápida e eficaz entre múltiplos dispositivos baseados em muitos protocolos padrão (Schneider Electric, 2019a).

Estes dispositivos possuem incorporados um Software de Gestão Web denominado Building Expert Web que fornece plataforma IHM para os seus usuários para supervisão e controlo de uma vasta gama de dispositivos finais com e sem fios (EnOcean e ZigBee compatível), incluindo sensores de luz, interruptores de luz, relés, termóstatos, leitores de cartões, e contatos magnéticos de portas (Schneider Electric, 2019a).



Figura 4.9: Multi-purpose Manager – MPM. Schneider Electric (2019a)

## 4.2 Características da Instalação

A infraestrutura de automação foi montada no laboratório 1.8, do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - DEEC da Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT da Universidade NOVA de Lisboa - UNL.

A arquitetura do sistema foi concebida para: recolher dados de consumo de energia de dois diferentes circuitos de iluminação do laboratório e de um

circuito de tomadas específicas; realizar a medição de lux; informar estado de abertura ou fechamento da porta de entrada; verificar ocupação da sala; medição e comando de ventoinha de aquecimento para interferir nas variáveis de temperatura e humidade interna da sala; detetar ocupação da sala e controlo on/off dos circuitos de iluminação de acordo com estado deste parâmetro; medir concentração de CO<sub>2</sub> e controlar ventoinha de exaustão para qualidade do ar e conforto térmico; consumo das tomadas do computador host do software de interface IHM e sistema de exaustão de CO<sub>2</sub> e ventoinha de aquecimento.

Os dispositivos foram montados em um painel (Figura 4.10) com exceção do sensor de abertura de portas (instalado na porta conforme Figura 4.11) e sensor de ocupação (centralizado no teto do laboratório conforme Figura 4.12).

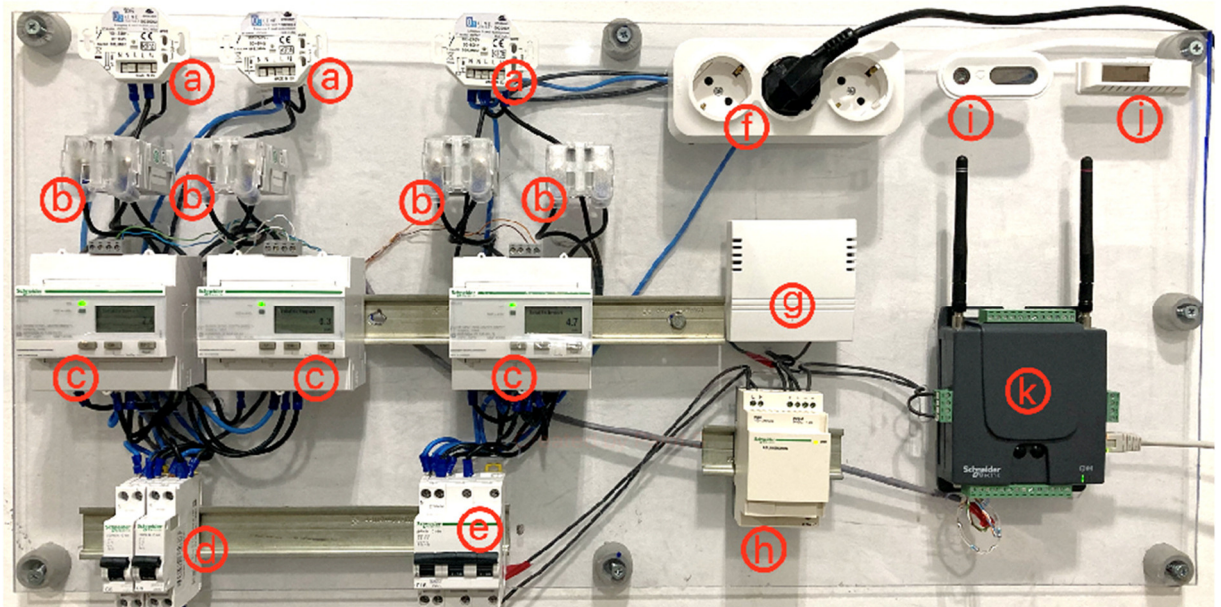


Figura 4.10: Painel de Infraestrutura de Automação. (a)Circuit Relays; (b) Transformadores de Corrente; (c) Medidores de Energia; (d) Disjuntores monofásicos 6 A; (e) Disjuntor trifásico 16 A; (f) Régua de tomadas; (g) Sensor de CO<sub>2</sub>; (h) Fonte AC/DC; (i) Sensor de lux; (j) Sensor de humidade e temperatura. Imagem Própria (2020)



Figura 4.11: Sensor de Abertura de portas. Imagem Própria (2020)

A fim de prover proteção à instalação e aos seus equipamentos integrantes, foram adicionados dois disjuntores monofásicos de 6 A para os circuitos de iluminação e um disjuntor trifásico de 16 A para a proteção do circuito da régua de tomadas que alimenta o computador host , ventoinha de exaustão para renovação do ar da sala (operada com base na concentração de  $\text{CO}_2$ ) e ventoinha de aquecimento (operada com base na temperatura da sala).



Figura 4.12: Sensor de Ocupação instalado no teto. Imagem Própria (2020).

Para alimentação elétrica do sensor de  $\text{CO}_2$  e do MPM foi instalado uma fonte para a conversão de energia de 220 Vac para 24 Vdc.

### 4.3 Interligação Elétrica e Diagrama Multifilar

A alimentação elétrica do hardware instalado para a infraestrutura de automação possui três diferentes configurações:

- Alimentação elétrica por fotocélula: Os sensores de humidade e temperatura, lux, ocupação, abertura de portas ou janelas e concentração de CO<sub>2</sub> necessitam de estar expostos à uma incidência de lux mínima (que varia a depender do sensor) para o carregamento de bateria interna e por conseguinte permitir o funcionamento dos dispositivos. A iluminação provida pelos sistemas de iluminação do laboratório é suficiente para carregar todos os smart devices em poucos minutos diários. Ressalta-se que as baterias de todos os componentes possuem autonomia para operar aos finais de semana em que o laboratório é desabitado e suas lâmpadas não são ligadas;
- Alimentação monofásica 220 Vac: Para a energização do hardware: Medidor de Energia; Relays Circuit; Régua de Tomadas e fonte AC/DC, foi aproveitada a fase e neutro dos dois circuitos independentes de iluminação (origem quadro de energia laboratório 1.5) e fase e neutro do sistema que alimenta 3 tomadas de serviço do laboratório 1.8 (origem quadro de energia lab. 1.8);
- Alimentação em 24 Vdc: Após a alimentação da fonte 220 Vac / 24 Vdc, esta possibilitou a energização do MPM e Sensor de CO<sub>2</sub> que operam em corrente contínua.

O diagrama multifilar de interligação elétrica da infraestrutura de automação está em destaque na seção APÊNDICE desta dissertação.

## **4.4 Comunicação da Infraestrutura de Automação**

A comunicação do sistema de automação se deu através de 3 distintos protocolos e arquiteturas e seus respectivos meio físicos para a transferência de dados e informações.

### *4.4.1 EnOcean*

Os sensores, relays circuit e MPM utilizados na Infraestrutura de Automação fazem parte da linha SmartStruxure™ Lite Solution da Schneider Electric. A comunicação bidirecional destes dispositivos e o Multi-Purpose Manager se realizou através de tecnologia Wireless (dispositivos com módulos internos), sobre o protocolo EnOcean que na Europa opera na frequência de 868 MHz.

### *4.4.2 Modbus e RS-485*

Os medidores de energia, modelo iEM 3255, se comunicam com o MPM através de protocolo Modbus e meio físico RS-485 a dois fios (half duplex). Como há 3 medidores de energia instalados, foi configurado um endereço (ID) para cada um para que o MPM como master possa recolher os dados de leitura destes e disponibilizar no Software IHM sem conflitos de dados.

### *4.4.3 Ethernet*

A comunicação direta entre o MPM e o computador desktop hospedeiro do Software de Interface Humano-Máquina (IHM) é realizado através do protocolo Ethernet e com meio físico TCP/IP. Necessita de configuração de IP, máscara de sub-rede e endereçamento do servidor DNS. O MPM, por defeito, possui os endereçamentos em destaque na Figura 4.13, abaixo, e foi desta forma que a comunicação foi implementada.

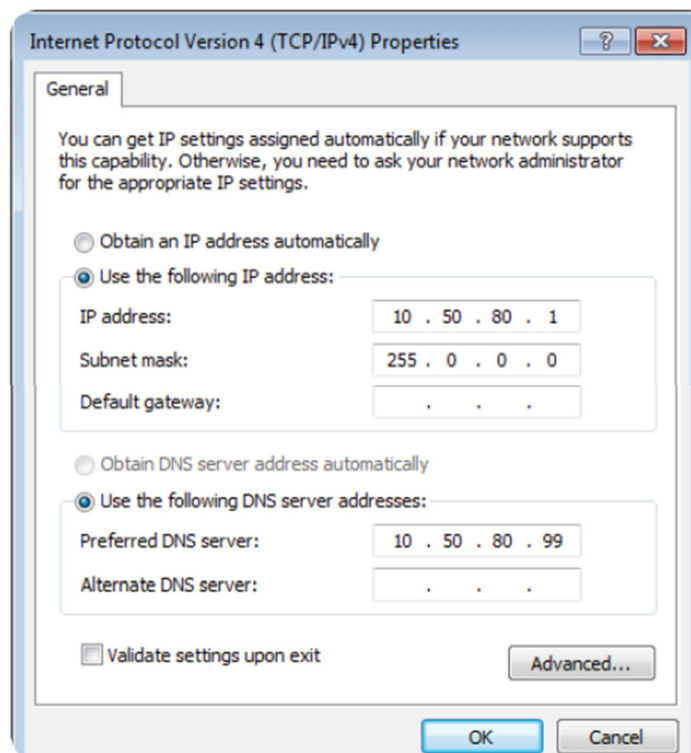


Figura 4.13: Configuração TCP/IPv4. Imagem Própria (2020)

## 4.5 Software IHM – *Building Expert*

Os dispositivos MPM possuem incorporado o Building Expert. Este é um Software Web que fornece a interface humano-máquina para supervisão, monitoramento e controlo da Infraestrutura de Automação instalada no laboratório 1.8 da FCT. Pode-se notar na Figura 4.14 todos os dispositivos comunicados com o MPM (lado esquerdo da imagem). Ao clicar em um destes se terá acesso aos dados de leitura ou estado do hardware, conforme ilustrado abaixo os dados do medidor de energia referente à régua de tomadas instaladas no painel de automação.

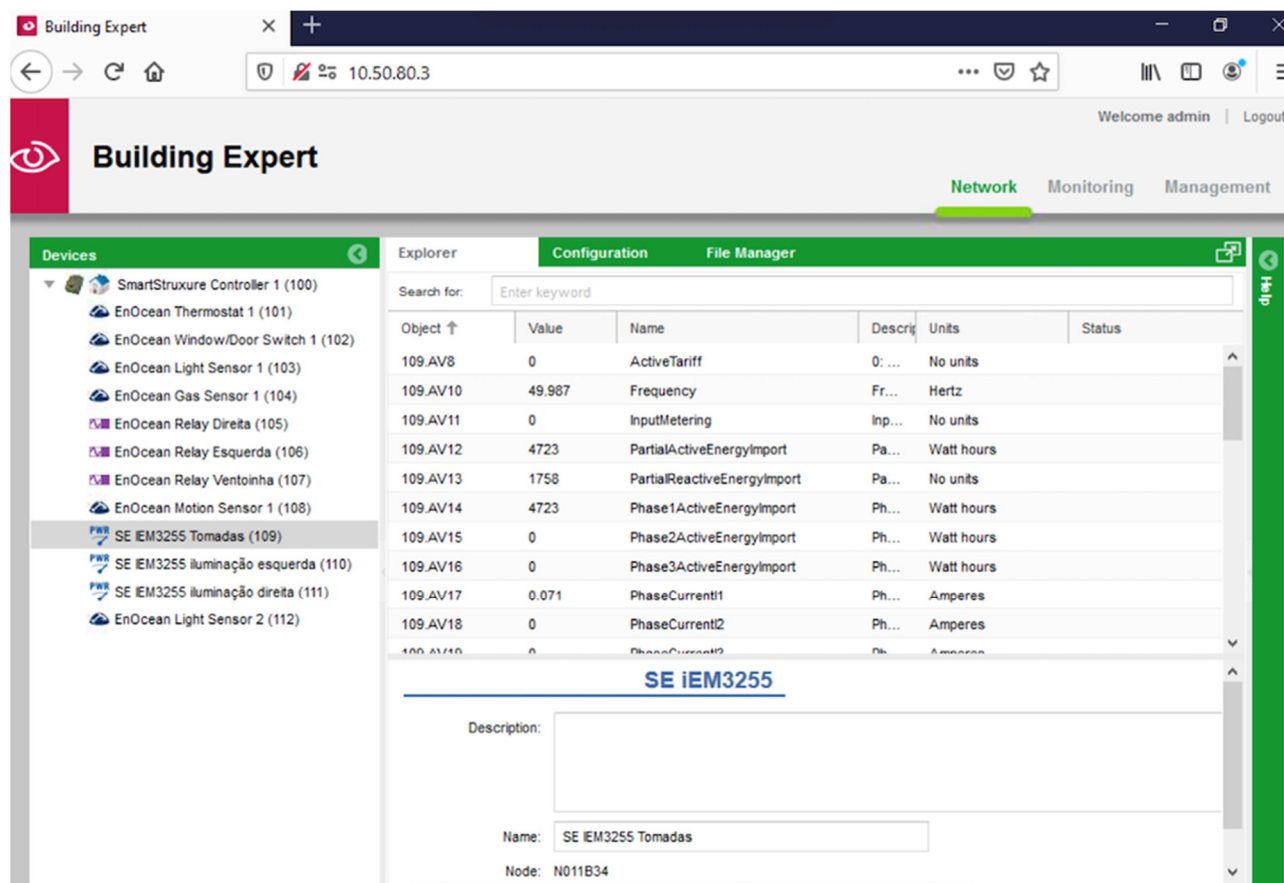


Figura 4.14: Configuração TCP/IPv4. Imagem Própria (2020)

No Building Expert é possível criar alarmes, configurar gráficos dos parâmetros medidos para supervisão e construção de modelos e criar regras de funcionamento autónomo dos dispositivos através de programação Lua script.

#### 4.5.1 Algoritmos de Controlo (LUA script)

A linguagem LUA possibilita a programação orientada a objetos, programação funcional, programação orientada a dados, e descrição de dados. Foi criada em 1993 por estudantes da PUC-Rio (Brasil) e se destaca pela gestão automática de memória com recolha incremental de lixo, o que a torna ideal para configuração, scripting e prototipagem rápida (Lua.org, 2020).

Com os recursos desta linguagem foi implementado no Software IHM algoritmos para controlo automático do sistema de iluminação, ventoinha de exaustão para renovação do ar da sala e ventoinha de aquecimento para

aumentar a temperatura do laboratório nos dias mais frios. Os algoritmos estão disponíveis nos APÊNDICES B, C e D.

## 4.6 Fluxogramas do Sistema de Controle

### 4.6.1 Controle $CO_2$

A ilustração do Fluxograma de Controle para qualidade do ar está representada abaixo na Figura 4.15.

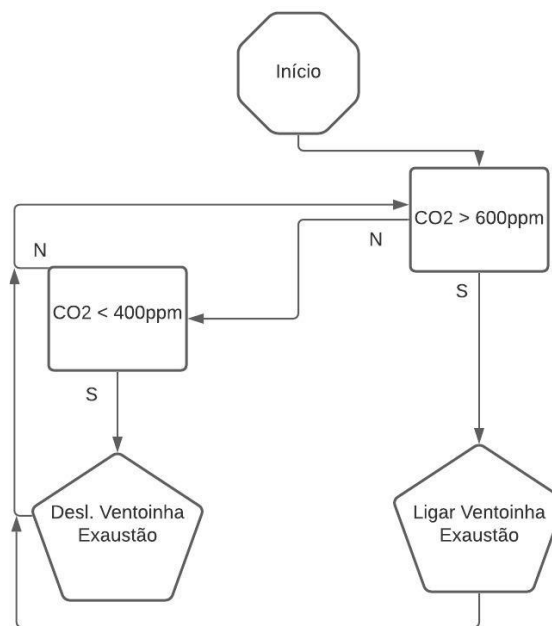


Figura 4.15: Fluxograma da regra criada para controle do Dióxido de Carbono. Imagem Própria (2020)



#### 4.6.2 Controlo Sistemas de Iluminação

O Fluxograma de controlo dos sistemas de iluminação está ilustrado na Figura 4.16.

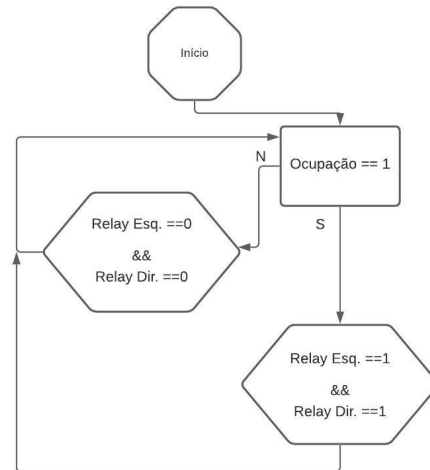


Figura 4.16: Fluxograma da regra criada para Sistema de Iluminação. Imagem Própria (2020)

#### 4.6.3 Controlo Ventoinha de Aquecimento

Fluxograma para energizar ventoinha de aquecimento na Figura 4.17

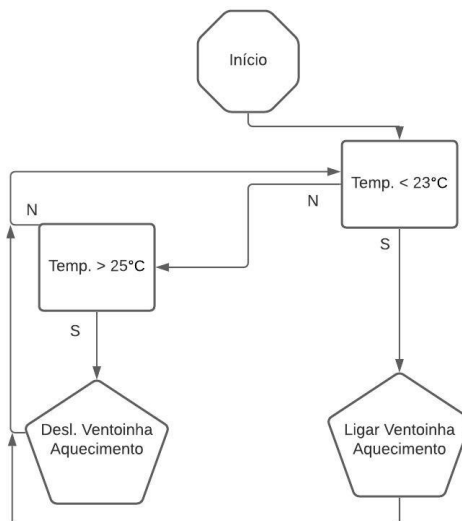


Figura 4.17: Fluxograma da regra criada para controlo da temperatura Desconforto Frio. Imagem Própria (2020)

## 4.7 Dados de Energia e Conforto Térmico

Nesta seção explicitam-se alguns dados e gráficos gerados pelo Software IHM da Infraestrutura de Automação que permitiu a medição da concentração de CO<sub>2</sub>, Temperatura e Humidade, e dados do consumo de energia dos circuitos que foram objetos de interesse nessa arquitetura. O software possui recursos limitados, no entanto é possível alterar os intervalos das leituras e limites mínimos e máximos das ordenadas e abcissas a fim de se obter maiores informações referente às tendências desejadas.

O Building Expert também gera um arquivo em formato excel no qual é possível ter o valor preciso dos últimos 250 pontos de medição dos dispositivos.

Os gráficos a seguir são ilustrativos para se demonstrar que o sistema de automação requerido está a realizar a monitorização dos parâmetros para o qual foi concebido.

### *4.7.1 Análise de Energia e tendências dos circuitos monitorizados*

O gráfico de tendências de energia apresenta um comportamento linear crescente, haja visto que energia nada mais é do que potência consumida em um determinado tempo (vide Figura 4.18). Portanto, a cada acréscimo de horas, por conseguinte haverá um incremento no consumo de energia do circuito analisado, o que não indica caminhos de se prover métodos de eficiência energética de um determinado sistema. Deste modo, importante ilustrar a capacidade do medidor de energia iEM3255 e demonstrar os dados que este fornece ao Software de Interface (ver Figura 4.19).

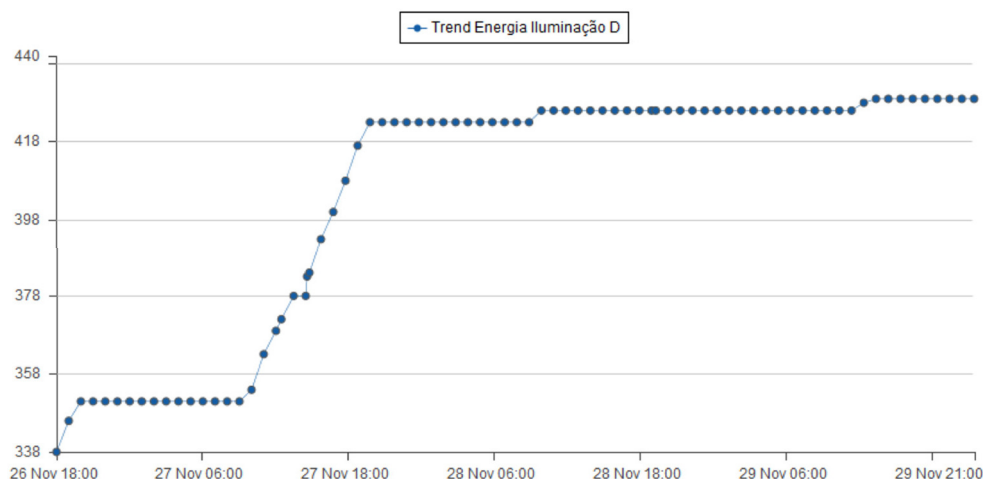


Figura 4.18: Consumo Energético Tomadas Iluminação lado direito. Imagem Própria (2020)

A Figura 4.19 ilustra o consumo de energia de um dos circuitos de iluminação (lado direito). Nota-se estabilidade antes do início das atividades laborais e consumo a aumentar quando há ocupação (e lâmpadas ligadas) até que este consumo estabilize novamente com a desocupação (de 28/11 até 29/11/2020) da sala teste.

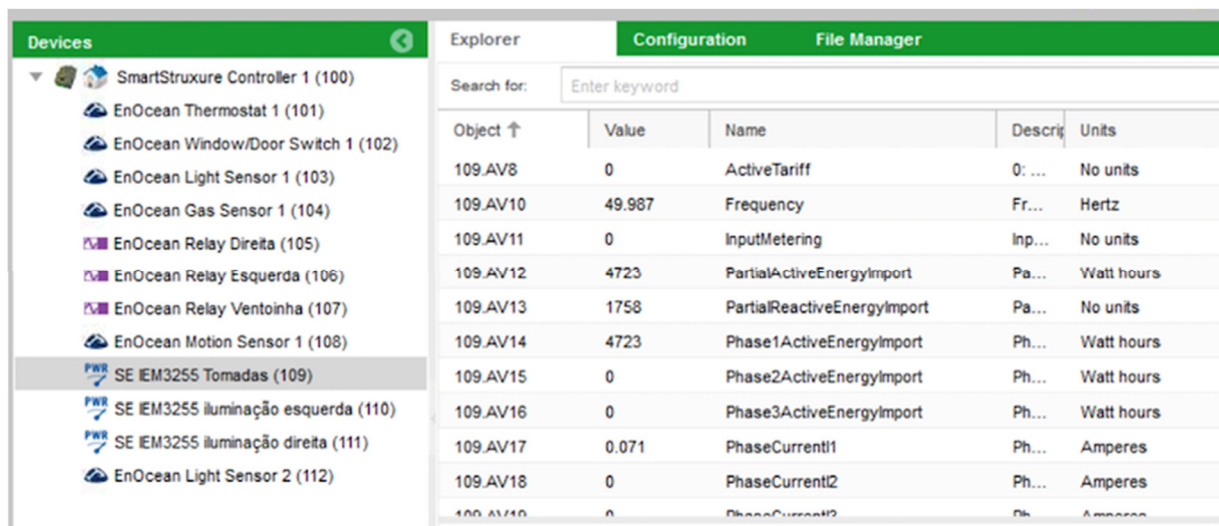


Figura 4.19: Dados Medidor de Energia Tomadas do painel. Imagem Própria (2020)

Como se pode verificar há uma informação não somente do consumo, mas de outros dados que inferem na qualidade de energia do circuito medido, como por exemplo, a análise da energia reativa consumida. Tal dado em uma instalação de um EI poderia indicar ao gestor a necessidade de adição de um banco de

condensadores como alternativa de correção e melhoramento da qualidade de energia do sistema, evitando assim desperdícios e atuando numa melhora da eficiência energética da instalação que está a ser monitorizada.

#### 4.7.2 Tendência Humidade

A Figura 4.20 ilustra a tendência de variação da humidade do dia 15 a 25 de novembro.

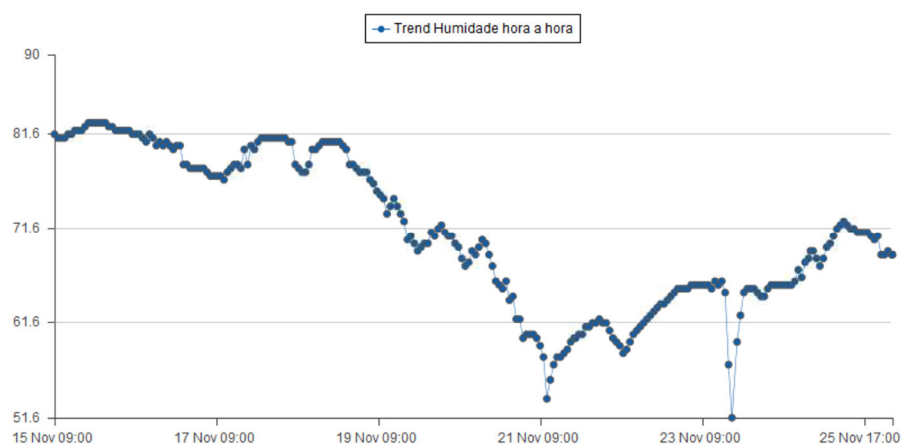


Figura 4.20: Gráfico da tendência gerada pela medição de humidade do dia 15 a 25 de novembro. Imagem Própria (2020)

#### 4.7.3 Tendência Temperatura

Gráfico de trend da temperatura indicado na Figura 4.21.

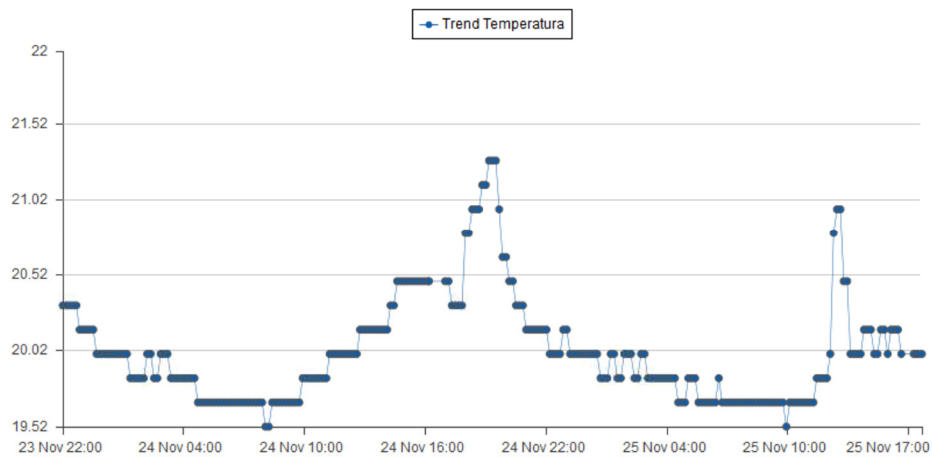


Figura 4.21: Gráfico da tendência temperatura do envelope do dia 23 a 25 de novembro. Imagem Própria (2020)

#### 4.7.4 Tendência Concentração de CO<sub>2</sub>

A concentração de CO<sub>2</sub> está a apresentar um resultado esperado e indicativo da necessidade de um sistema autónomo para qualidade do ar e conforto térmico, haja visto que indica uma “pobre qualidade do ar” no final do dia (ver Figura 4.22) ao obter valores de concentração que ultrapassam os 600 ppm. É natural que estes números tendam a aumentar devido à respiração dos ocupantes do laboratório durante uma jornada laboral. Fica assim evidenciado a necessidade de se ter instalado a ventoinha de exaustão na porta do laboratório conforme conceção inicial do projeto a fim de que o ar seja renovado conforme estratégia de controlo já implementada na infraestrutura de automação.

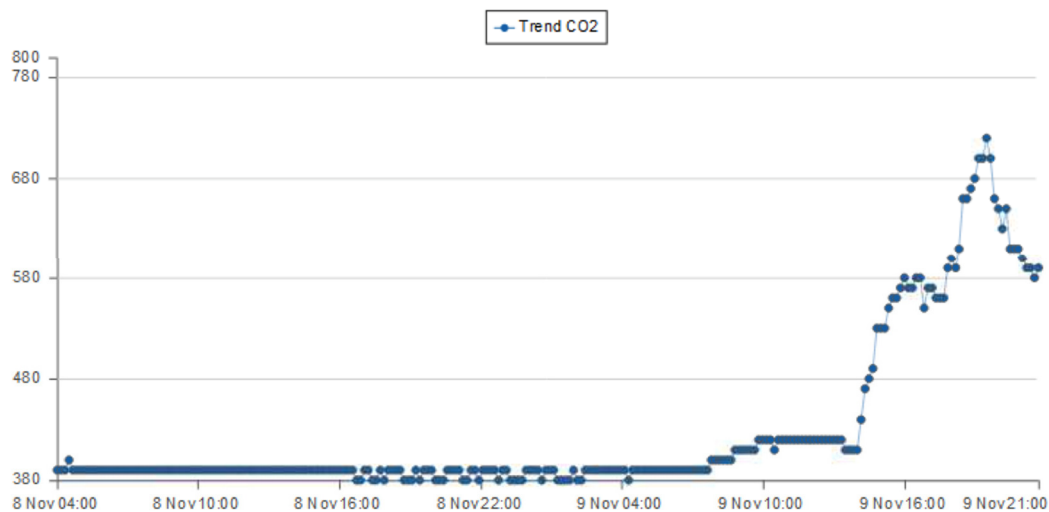


Figura 4.22: Tendência gerada pela medição de Dióxido de Carbono do dia 8 a 9 de novembro. Imagem Própria (2020)



## Conclusões

O sector da construção é crucial para alcançar os objetivos da UE relativos à energia e ambiente. Devido à concepção, tecnologia empregada e filosofia os EI têm papel fundamental para a redução de emissões de gases do aquecimento global e atingimento das metas propostas pela Comissão Europeia. Ao mesmo tempo é possível afirmar que edifícios eficientes, tanto do ponto de vista energético, quando da promoção de conforto térmico melhoram a qualidade de vida dos cidadãos, trazendo simultaneamente benefícios adicionais para a economia e a sociedade em geral.

Com o objetivo de Investigar, aprimorar e comprovar a aplicação de KETs em condições reais de operação para o desenvolvimento e criação de modelos, a montagem de infraestrutura de automação foi executada conforme proposto. Os dispositivos de automação fornecidos foram instalados na “sala teste” da FCT e conseguiu monitorar a qualidade de energia e consumo de 3 diferentes circuitos de energia eléctrica, a saber, 2 sistemas de iluminação e 1 circuito referente à uma régua de tomadas de serviços através da instalação de 3 medidores de energia. Adicionalmente foram instalados sensor de humidade e temperatura, sensor de CO<sub>2</sub>, sensor de ocupação, sensor de abertura de porta e sensor de lux. Foi realizada a comunicação bidirecional (Modbus e EnOcean) de todos os

dispositivos citados com o Multi-purpose Manager. Foi criada uma interconexão local (Ethernet) que permitiu uma interface humano máquina para monitorizar e controlar todos os smart devices através do Software Building Expert. Com o intuito de explorar os recursos do sistema e fazê-lo operar de maneira autónoma foram introduzidos algoritmos (em linguagem Lua) no Software de Gestão a fim de: Controlo para economia de energia dos sistemas de iluminação quando a sala estiver desocupada; Operar Ventoinha de Exaustão para controlo da qualidade do ar do laboratório quando a concentração de dióxido de carbono exceder 600 ppm e Controlo para ligar ventoinha de aquecimento quando a temperatura da sala estiver abaixo de 23 graus Celsius.

Recomenda-se que para o posterior desenvolvimento de um controlador inteligente de energia e conforto térmico sejam recolhidos os dados oriundos da infraestrutura de automação montada e em conjunto sejam adicionados feedback da percepção subjetiva de ocupantes do laboratório relativamente ao conforto térmico. Estes dados servirão para, em um software de modelagem matemática dotado com ambiente de simulação, implementar um framework para se desenvolver o controlador pretendido.

## Referências Bibliográficas

- Anderl, R. (Ed.), 2012. Smart engineering: Interdisziplinäre Produktentstehung. Springer, Berlin, Heidelberg, 57 Seiten.
- Ray Y. Zhong, Chen Xu, Chao Chen, George Q. HuangBig Data Analytics for Physical Internet-Based Intelligent Manufacturing Shop Floors International Journal of Production Research, 55 (9) (2017), pp. 2610-2621
- Niall O'Mahony, Trevor Murphy, Krishna Panduru, Daniel Riordan, Joseph Walsh Smart Sensors for Process Analytical Technology IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Vol. 2016, AIM (2016)
- João Figueiredo, José Sá da CostaA SCADA System for Energy Management in Intelligent Buildings Energy and Buildings, 49 (2012), pp. 85-98 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.041>
- Francisco Almada-Lobo The Industry 4.0 Revolution and the Future of Manufacturing Execution Systems (MES) Journal of Innovation Management, 3 (4) (2016), pp. 16-21
- Ian H Witten, Eibe Frank, Mark a HallData Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Google EBook) ELSEVIER (Ed.), Complementary Literature None, Morgan Kaufman Publishers (2011)
- Gill, K., S.-H. Yang, F. Yao e X. Lu (2009). "A ZigBee-Based Home Automation System". Em: IEEE Transactions on consumer Electronics 55.2, pp. 422–430.
- Nunes, J. P. (2009). "Configuração de Sistemas Domóticos". Tese de doutoramento. Dissertação apresentada à Universidade Técnica de Lisboa para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Informática e de Computadores.
- Sultan, M. e K. Nabil (2016). "Smart to Smarter: Smart Home Systems History , Future and Challenges". Em: Future of HBI: Human-Building Interaction Workshop, ACM CHI'16. IEEE.



Dario Bonino, Fulvio Corno, Rule-based intelligence for domotic environments, Automation in Construction, Volume 19, Issue 2, 2010.

Ray Y. Zhong, Chen Xu, Chao Chen, George Q. Huang Big Data Analytics for Physical Internet-Based Intelligent Manufacturing Shop Floors - International Journal of Production Research

Turing, A. I.-Computing Machinery and Intelligence. Mind LIX, 433–460 (1950)

LeCun Y, Boser B, Denker JS, Henderson D, Howard RE, Hubbard W, et al. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. Neural Comput 1989;1(4):541–51

Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton G. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In: Pereira F, Burges CJC, Bottou L, and Weinberger KQ, editors. Proceedings of the Neural Information Processing Systems 2012; 2012 Dec 3–6; Lake Tahoe, NV, USA; 2012. p. 1097–105

Hochreiter S, Schmidhuber J. Long short-term memory. Neural Comput 1997;9(8):1735–80.

McCarthy J. Defending AI research: a collection of essays and reviews. Stanford: CSLI Publications; 1996.

Hinton GE, Rumelhart DE, McClelland JL. Distributed representations. In: Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition: foundations. Cambridge, MA: MIT Press; 1986. p. 77–109.

Aggarwal, C. C. Neural Networks and Deep Learning: A Textbook. Artificial Intelligence (Springer, 2018). doi:10.1201/b22400-15.

.L. Casavant , J.G. Kuhl , A taxonomy of scheduling in general-purpose distributed computing systems, IEEE Trans. Softw. Eng. 14 (2) (1988) 141–154

Camacho, Bordons - Model predictive control (2002)

Khedari, J.; Yamtraipat, N.; Pratintong, N.; Hirunlabh, J. Thailand ventilation comfort chart. In: SILVA, P. C. P. da. Análise do comportamento térmico de 69

construções não convencionais através de simulação em VisualDOE. 2006. 228 p. Tese de mestrado. Universidade do Minho, Portugal.

Silva, P. C. P. da. Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE. 2006. 228 p. Tese de mestrado. Universidade do Minho, Portugal.

Fanger PO. Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press; 1970<<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19722700268>>.

Yang L, Yan H, Lam JC. Thermal comfort and building energy consumption implications a review. Appl Energy 2014;115:164–73. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>.

Goh T, Ang B, Xu X. Quantifying drivers of CO2 emissions from electricity generation current practices and future extensions. Appl Energy 2018;231:1191–204.<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.174>.

Allouhi A, Fouih YE, Kousksou T, Jamil A, Zeraouli Y, Mourad Y. Energy consumption and efficiency buildings: current status and future trends. J Clean Prod 2015;109(Supplement C):118–30. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>.

Seyboth K, Beurskens L, Langniss O, Sims RE. Recognising the potential for renewable energy heating and cooling. Energy Policy 2008;36(7):2460–3. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.046>.

Huizenga C, Abbaszadeh S, Zagreus L, Arens EA. Air quality and thermal comfort in office buildings: results of a large indoor environmental quality survey. Proc Healthy Build 2006;3.

Elnaz Asadian, ... Ali Vakili Ardebili, in Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions, 2018

James Sinopoli, in Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders, 2010

European Comission (2018a). Energy performance of buildings | Energy. url:

<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings> (acedido em 10/01/2019).

Eurostat, Final energy consumption by sector, available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/main-tables>.

GBPN, Global Buildings Performance Network, (2014), Reducing energy demand in buildings: learning from best practices renovation policies, Available at: <http://www.gbpn.org/sites/default/files/08.%20Renovation%20Tool%20Report.pdf> (acessado em Novembro, 2020).

Qian Huang, ... Kang Chen, in Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence, 2017

Mojtaba Navvab, ... Stefano Panzieri, in Handbook of Energy Efficiency in Buildings, 2019

Schneider Electric (2010a). LF24-SR.

(2010b). Schneider Electric SoMachine Software Introduction. url: [https://stevenengineering.com/tech%7B%5C\\_%7Dsupport/PDFs/45SOFTWARE%7B%5C\\_%7DSOMACHINE.pdf](https://stevenengineering.com/tech%7B%5C_%7Dsupport/PDFs/45SOFTWARE%7B%5C_%7DSOMACHINE.pdf).

(2015). Variable speed drives Altivar 12. França. url: <https://www.se.com/ww/en/product-range/2253-altivar-12/>.

(2016). MR95 Radiator Valve Actuator.

(2018). EcoStruxure Machine Expert. url: <https://www.se.com/pt/pt/productrange-presentation/2226-ecostruxure-machine-expert/%7B%5C#%7Dtabs-top> (acedido em 05/09/2019).

(2019a). A9MEM3155.

(2019b). Modicon M241 Logic controllers. França. url: <https://www.se.com/ww/en/product-range/62129-modicon-m241/>.

(2019b). Modicon M241 Logic controllers. França. url: <https://www.se.com/ww/en/product-range/62129-modicon-m241/>.

(2020a). MTN5510-1419. url: <https://www.se.com/pt/pt/product/MTN5510-1419/argus-presence-master-with-ir%7B%5C%%7D2C-1-10v%7B%5C%%7D2Cpolar-white/>.

(2020b). SE8350U0B11 Fan Coil Unit and Zone controller BACnet - rel humidity - universal output - WH. url: <https://www.se.com/ww/en/product/SE8350U0B11/fan-coil-unit-and-zone-controller-bacnet---rel-humidity---universaloutput---wh/>.

Schneider Electric (2020c). SED-CO2-G-5045. url: <https://www.se.com/ww/en/product/SED-CO2-G-5045/ecostruxure-building-expert---wireless-co2-room-sensor---temperature---humidity/>.

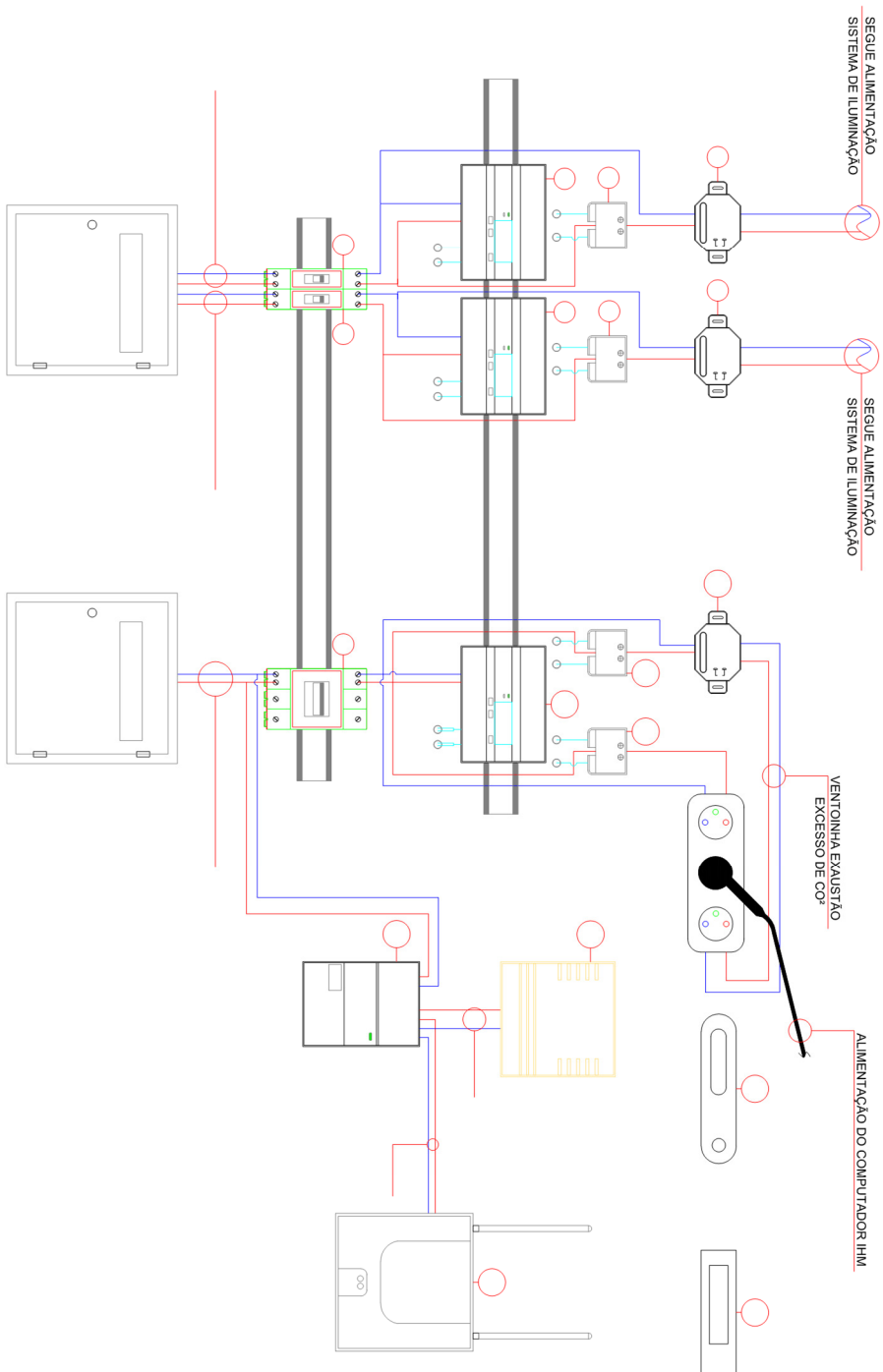
<https://www.thermokon.de/produkte/luftqualitaet/raumfuehler/wrf04-co2/>).

[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=IEA/PRESS\(97\)9&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=IEA/PRESS(97)9&docLanguage=En)

# APÊNDICE



## Apêndice A



	DESCRIÇÃO
	CENTRAL MEDIDA TRIFÁSICA, MODBUS, MID
	FONTE DE ALIMENTAÇÃO 230V/ac WIRELAY
	INDOOR CO2 SENSOR ALIMENTAÇÃO 24V

[illegible]







## Apêndice B

Algoritmo de Controlo da Qualidade do Ar - Concentração de CO<sub>2</sub>:

```
var("concentration", "ME.AV5")
var("relay", "ME.BO23")
var("relaystate", "ME.BO43")

if concentration >= 800 then
  relaystate=1
  relay=1
  if changed.relaystate and relaystate==1 then
    relaystate=0
    print("CO2 max! Ventoinha ligada")
    print("CO2 concentration is: " , concentration)
  end
else
  relaystate=1
  relay=0
  if changed.relaystate and relaystate==1 then
    relaystate=0

    print("ventoinha desligada")

    print("CO2 concentration is: " , concentration)
  end
end
```



## Apêndice C

Algoritmo de Controlo Sistemas de Iluminação - Presença:

```
var("presenca", "ME.BV3")
var("relayD", "ME.BO21")
var("relaystateD", "ME.BO41")
var("relayE", "ME.BO22")
var("relaystateE", "ME.BO42")
var("lux", "ME.AV3")
```

```
if presenca == 0 then
    relaystateD=1
    relaystateE=1
    relayD = 0
    relayE=0
    if changed.relaystateD and changed.relaystateE and relaystateD==1 and re-
laystateE==1 then
        relaystateD=0
        relaystateE=0
        print("Sem ocupacao")
        print("Luzes desligadas")
    end
end
```

```
else
    relaystateD=0
    relaystateE=0
    relayD=1
    relayE=1
    if changed.relaystateD and changed.relaystateE and relaystateD==0 and re-
laystateE==0 then
        relaystateD=1
        relaystateE=1
        print("Sala ocupada")
        print("Luzes ligadas")
    end
end
```



## Apêndice D

Algoritmo de Controlo de Aquecimento da Sala – Temperatura:

```
var("temperature", "ME.AV2")
var("relay", "ME.BO23")
var("relaystate", "ME.BO43")

if temperature < 20 then
    relaystate=1
    relay=1
    if changed.relaystate and relaystate==1 then
        relaystate=0
        print("Desconforto frio. Ventoinha de aquecimento ligada")
        print("Temperatura é: " , temperature)
    end
else
    relaystate=1
    relay=0
    if changed.relaystate and relaystate==1 then
        relaystate=0

        print("Conforto térmico neutro")

        print("Temperatura é: " , temperature)
    end
end
```